



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TVORBA 3D MODELU TŘÍBŘITÉHO VRTÁKU PRO 3D TISK

DESIGN OF 3D MODEL FOR THREE FLUTES DRILLING TOOL FOR 3D PRINTING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Karel Bělaška

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Karel Bělaška**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Tvorba 3D modelu tříbřitého vrtáku pro 3D tisk

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Autor provede rešerši problematiky konstrukce a výroby tříbřitých vrtáků s ohledem na tvorbu modelu. Zvolí vhodnou aplikaci a formát dat. Vytvoří 3D modely tříbřitých vrtáků s ohledem na zvolenou metodu výroby. Provede zhodnocení z hlediska 3D tisku.

Cíle bakalářské práce:

- rešerše problematiky
- volba vhodné aplikace a formátu dat
- tvorba modelů
- vyhodnocení modelů
- vyhodnocení a závěr

Seznam literatury:

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. Brno: CERM, 2003, 192 s. ISBN 80-214-2336-6.

WANG, Wego. Reverse Engineering: Technology of Reinvention. 1. vyd. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis Group, 2011, 322 s. ISBN 978-1-4398-0630-2.

CHUA, C.K., K.F. LEONG a C.S. LIM. Rapid Prototyping: Principles and Applications. 3. vyd. Singapore: World Scientific Publishing Co., 2010, 512 s. ISBN 978-981-277-897-0.

PÍŠKA, Miroslav et al. <i>Speciální technologie obrábění</i>. 1. vyd. Brno: CERM, 2009, 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

FOŘT, Petr a Jaroslav KLETEČKA. <i>Autodesk Inventor</i>. Brno: Computer Press, 2007, 296 s. ISBN 978-80-251-1773-6.

WHITNEY, E.D. Ceramic Cutting Tools. William Andrew Publishing/Noyes, 1994, 357 s. ISBN 978--8155-1355-1. Dostupné z: www.knovel.com

HUMÁR, Anton. Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění. Brno: CCB, 1995, 265 s. ISBN 80-85825-10-4.

Computer-Aided Design. roč. 28, č. 4. ISSN 0010-4485.

MOAVENI, Saeed. Finite element analysis: theory and application with ANSYS. 3rd ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2008, xv, 861 s. Pearson education international. ISBN 978-0--3-241651-1.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h.
c.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se věnuje výrobě 3D modelu tříbřitého vrtáku metodou tisku Fused Deposition Modeling. První část práce se zabývá geometrií šroubovitých vrtáků a metodami jejich výroby. Hlavním cílem práce je tvorba 3D modelu, který byl vyroben v programu Inventor Professional 2016. Byly použity dvě metody tvorby modelu a to metoda broušení a metoda tažením profilu po šroubovici.

Klíčová slova

3D tisk, FDM, tříbřitý vrták, tvorba modelu, Inventor Professional

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the production of three flutes drill 3D model by Fused Deposition Modeling method. First part of this thesis describes geometry of twist drills and the methods of their production. In the main part of the thesis is described the creation of 3D model, that was created in software Inventor Professional 2016. There were two methods of creation used – grinding method and the dragging profile over helix method.

Key words

3D printing, FDM, three flutes drill, creation model, Inventor Professional

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BĚLAŠKA, Karel. *Tvorba 3D modelu tříbřitého vrtáku pro 3D tisk*. Brno 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 49 s. 5 příloh. Vedoucí práce. Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Tvorba 3D modelu třibřitého vrtáku pro 3D tisk** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Karel Bělaška

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto svému vedoucímu Ing. Oskaru Zemčíkovi, Ph.D, za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za podporu při tvorbě bakalářské práce a při dosavadním studiu.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 ZÁKLADNÍ ROZBOR GEOMETRIE ŠROUBOVITÉHO VRTÁKU.....	10
1.1 Úhel stoupání šroubovice.....	11
1.2 Vrcholový úhel	11
1.3 Šířka fazetky	12
1.4 Tloušťka jádra.....	12
1.5 Zúžení průměru břitu	13
1.6 Způsoby podbroušení hřbetních ploch.....	13
2 VÝROBNÍ METODY ŠROUBOVITÝCH VRTÁKŮ	15
2.1 Frézováním	15
2.2 Broušením.....	15
2.3 Tvářené vrtáky	15
2.3 Sektorovým válcováním	16
2.4 Protlačováním	16
2.5 Zkrucováním.....	16
2.6 Příčným válcováním	16
2.7 Kováním v zápustkách.....	16
3 RAPID PROTOTYPING.....	17
3.1 Řetězec procesu	17
3.1.1 Pre – processing	18
3.1.2 Processing (budování).....	20
3.1.3 Post – processing	20
3.2 Metody rapid prototyping	21
3.2.1 Na bázi fotopolymerů	21
3.2.2 Na bázi práškových materiálů.....	21
3.2.3 Na bázi tuhých materiálů	21
3.3 Popis metody Fused Deposition Modeling – FDM	21
4 TVORBA 3D MODELŮ TŘÍBŘITÝCH VRTÁKŮ	23
4.2 Tvorba modelu vrtáku „broušením“	23
4.2.1 Tvorba polotovaru.....	24

4.2.2	Tvorba drážek	25
4.2.3	Tvorba fazetky	29
4.2.4	Tvorba špičky vrtáku a zpětné kuželovitosti	31
4.2.5	Výbrusy špičky	32
4.2.6	Dokončený model vrtáku	34
4.3	Tvorba modelu vrtáku „tažením profilu po šroubovici“	35
4.3.1	Tvorba polotovaru	35
4.3.2	Tvorba drážek	35
4.3.3	Tvorba fazetky	37
4.3.4	Tvorba špičky vrtáku a zpětné kuželovitosti	38
4.3.5	Výbrusy špičky	38
4.3.6	Dokončený model vrtáku	38
5	TISK MODELU	39
6	ANALÝZA NAPĚTÍ	41
6.1	Analýza na krut	41
6.2	Analýza na tlak	43
	ZÁVĚR	44
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	45
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	47
	SEZNAM PŘÍLOH	49

ÚVOD

Současná doba klade velké požadavky na co nejrychlejší, nejkvalitnější a nejlevnější výrobu součástek. Tisk pomocí 3D tiskáren umožňuje výrobu složitějších výrobků, kdy by bylo obtížné využití konvenčních metod. Metoda 3D je velmi vhodná pro výrobu kusovou či malosériovou výrobu. Velkou výhodou je vytvoření funkčního prototypu výrobku, kdy zákazník může ještě před konečnou výrobou nástroje vznést řadu připomínek a předejít problémům při velkosériové výrobě. V dnešní době je technologie již na takové úrovni, že je možné vyrobit plně funkční součástky z kovových materiálů např. v aplikacích motorsportu.

Počátky 3D tisku spadají do druhé poloviny 20. století. Jako první si Charles Hull nechal v roce 1986 patentovat technologii stereolitografie. Jedná se o techniku, která ve svém trojrozměrném laserovém tisku využívá UV laser a tekutý fotopolymer [1].

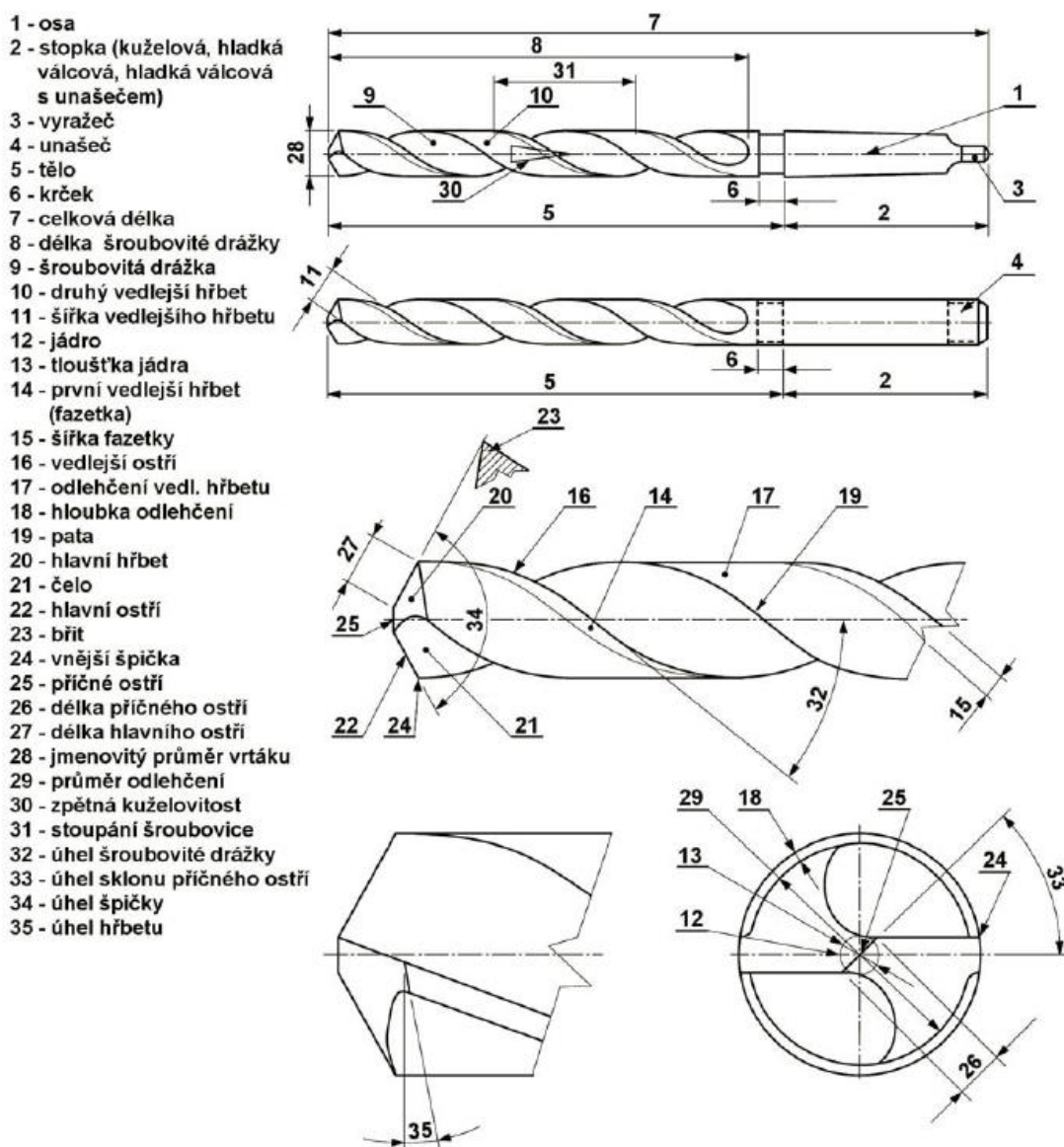
Technologie 3D tisku je některými lidmi označována jako počátek „třetí průmyslové revoluce“. Dnes je na trhu velké množství technologií 3D tisku, které mají však jedno společné. Jedná se o postupné přidávání materiálu, které na rozdíl od jiných výrobních technologií, které většinou pracují s principem odebrání materiálu, nezpůsobují žádný odpad. Využívají se materiály jako kovové prášky, ABS plast, fotopolymery aj., kdy se využívá laserového spékání prášku, nanášení natavovaného materiálu, vytvrzování laserem, UV zářením apod.

V této bakalářské práci je cílem vytvořit 3D model tříbřitého vrtáku. Na rozdíl od dvoubřitých vrtáků vykazují lepší válcovitost, kruhovitost, přesnost a souosost vrtaných děr. Dochází ke snížení řezných sil na každý z břitů, a tak je možné volit vyšší posuvy. Mají vyšší životnost a nižší seřizovací časy, a proto vykazují vyšší produktivitu [2].

Tisk modelu bude proveden metodou Fused Deposition Modeling (FDM).

1 ZÁKLADNÍ ROZBOR GEOMETRIE ŠROUBOVITÉHO VRTÁKU

Šroubovitě vrtáky jsou nejrozšířenějšími a nejpoužívanějšími nástroji na výrobu otvorů. Geometrie šroubovitých vrtáků je velmi obdobná, jak u dvojbřitých, tak u tříbřitých nástrojů, s tím rozdílem, že dvojbřité vrtáky jsou tvořeny dvěma protilehlými šroubovitými drážkami na odvod třísky. Tříbřítý nástroj je tvořen třemi těmito drážkami. Popis šroubovitěho vrtáku je zobrazen na obr. 1.1 [3, 4].



Obr. 1.1 Základní parametry šroubovitěho vrtáku [3].

1.1 Úhel stoupání šroubovice

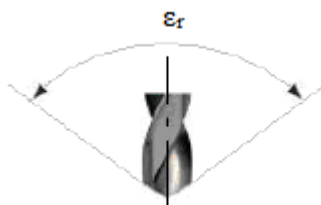
Vzhledem k tomu, že pro každý typ obráběného materiálu je potřebné zvolit jinou velikost úhlu stoupání šroubovice λ_s . Nástroje určené pro vrtání měkkého materiálu, mají sklon šroubovice λ_s větší (až 45°). Pro tvrdé materiály se volí úhel šroubovice menší. Doporučené úhly sklonu drážek λ_s jsou uvedeny v tabulce 1.1 [4].

Tab. 1.1 Doporučené hodnoty úhlů sklonu drážek λ_s [5].

Materiál obrobku	Úhel sklonu drážek λ_s [°]
Ocel do 700 N·mm ⁻²	30
Ocel 700 až 900 N·mm ⁻²	30
Oceli slitinové (zušlechtnuté) 900 až 1200 N·mm ⁻²	30
Šedá litina	30
Měď, hliník	40
Slitiny hliníku	30
Mosaz, bronz	15
Plastické hmoty	15

1.2 Vrcholový úhel

Vrcholový úhel ε_r je úhel mezi průměty dvou hlavních břitů na základní rovinu (Obr. 1.2) [6].



Obr. 1.2 Vrcholový úhel ε_r [6].

Velikost vrcholového úhlu ε_r se rovněž volí podle typu obráběného materiálu stejně jako u úhlu stoupání šroubovice (Tabulka 1.2) [2].

Tab. 1.2 Doporučené hodnoty vrcholového úhlu ε_r [5].

Materiál obrobku	Vrcholový úhel ε_r [°]
Ocel do 700 N·mm ⁻²	110
Ocel 700 až 900 N·mm ⁻²	120
Oceli slitinové (zušlechtnuté) 900 až 1200 N·mm ⁻²	130
Šedá litina	95
Měď, hliník	140
Slitiny hliníku	110 – 130
Mosaz, bronz	120
Plastické hmoty	80 – 100

1.3 Šířka fazetky

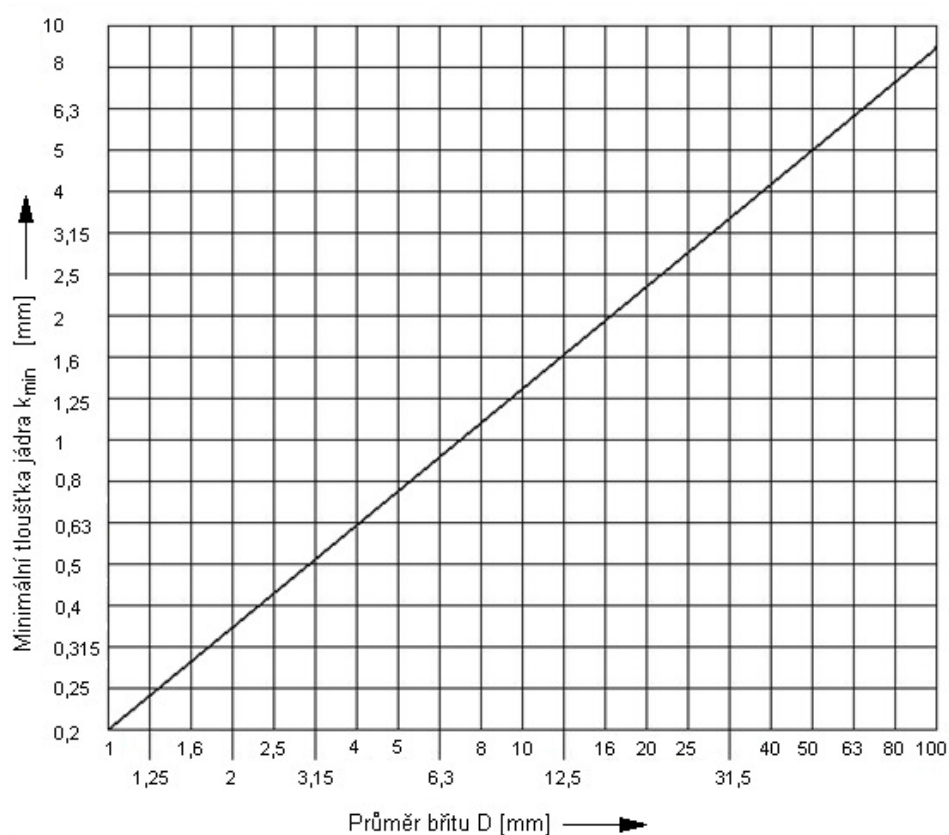
Šířka fazetky b'_{an} (obr. 1.3) se měří kolmo k bočnímu řeznému úhlu poblíž hrany břitu [6].



Obr. 1.3 Šířka fazetky [6].

1.4 Tloušťka jádra

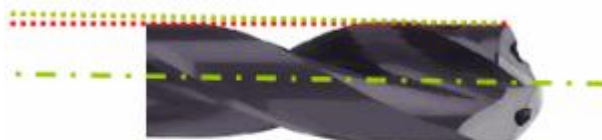
Šroubovitá tělesa jsou spojena jádrem. Tloušťka se měří pomocí vepsaného válce o průměru d a je dána průměrem vrtáku D . Směrem ke stopce vrtáku se tloušťka jádra mírně zvětšuje s úkosem 1:130. Ke konstrukci šroubovitých vrtáků je možné potřebné minimální hodnoty zjistit z grafu (obr. 1.4) [5].



Obr. 1.4 Graf závislosti minimální tloušťky jádra na průměru břitu D [6].

1.5 Zúžení průměru břitu

Vrtáky je potřeba vyrábět se zúžením průmětu břitu. Toto zúžení má vliv na snížení tření mezi fazetkou a stěnou vrtaného otvoru. Jedná se o tzv. zpětnou kuželovitost (obr. 1.5). Červená čára označuje konečný průměr zpětné kuželovitosti na ploše vrtáku. Zelená čerchovaná čára tvoří osu vrtáku a zelená tečkovaná čára značí původní průměr vrtáku [7].



Obr. 1.5 Zúžení průmětu břitu [7].

1.6 Způsoby podbroušení hřbetních ploch

- **Rovinné**

Jedná se o nejjednodušší typ způsob ostření vrtáku. Nevýhodou je, že nesplňuje podmínku zvětšení úhlu hřbetu v blízkosti příčného břitu. Tímto způsoben jsou ošetřeny vrtáky do průměru 10 mm [5].

- **Válcové**

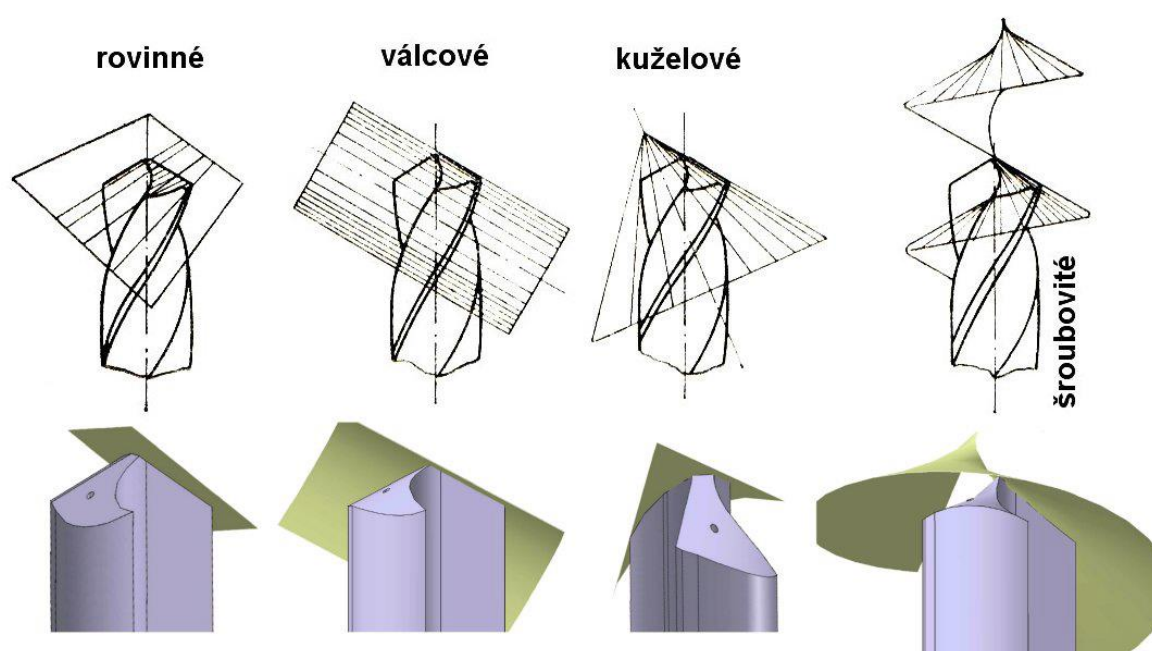
Válcové ostření taky nezvětšuje výhodné úhly α u příčného břitu. Tento způsob se používá pro broušení vrtáků malých průměrů [5].

- **Kuželové**

Jedná se o nejvíce používaný způsob ostření vrtáků. Hřbetní plocha je vytvořena jako část pláště kužele, jehož vrchol je postaven tak, aby u příčného břitu vznikl vlivem menšího poloměru zakřivení větší úhel α [5].

- **Šroubovitě**

Kombinací axiálního pohybu brousícího kotouče a rotačního pohybu vrtáku se vytvoří hřbetní plocha ve tvaru šroubovice. Vzniknou velmi výhodně hřbetní úhly u příčného břitu, takže vrták má lepší středící vlastnosti a klade menší odpor při vnikání do materiálu. Oba hlavní břity mají být po naostření vrtáku přímkové. Při vypouklém břitu jsou přechodové části břitu vystaveny rychlému opotřebení. U vydutých břitů se vrták při vyjíždění z díry snadno zasekne a poškodí [5].



Obr. 1.6 Způsoby podbroušení hřbetních ploch šroubovitých vrtáků [3].

2 VÝROBNÍ METODY ŠROUBOVITÝCH VRTÁKŮ

2.1 Frézováním

Tvarovými frézami jsou frézovány drážky a hřbetní odlehčení vrtáků. Z důvodu vysoké ztráty materiálu obráběním (30 až 45 %), není tento způsob výroby hospodárný [5].

2.2 Broušením

Broušením se vyrábějí vrtáky menších průměrů od 0,1mm do 10mm [5].

Profil broušených vrtáků (obr. 2.1) je vytvořen brousícími kotouči do již tepelně zpracovaného materiálu kalením. Tvar drážky je propočítán tak, aby výsledky byly nejlepší, jak v přesnosti vrtaného otvoru, tak trvanlivosti vrtáku. V tomto případě je možné vyrábět vrtáky s různými úhly sklonu šroubovice. Vrtáky vyrobené tímto způsobem jsou velmi přesné z hlediska geometrických rozměrů [8].

Používají se především tam, kde je požadováno přesné vrtání. Při těchto operacích je podmínkou, aby vedení vrtacího vřeteníku bylo dostatečně tuhé, přesné a aby se vrtalo se strojním posuvem [8].



Obr. 2.1 Broušený vrták [9].

2.3 Tvářené vrtáky

U tvářených vrtáků (obr. 2.2) se funkční část vyrábí tvářením za tepla. Tento tvářecí proces způsobuje, že některé rozměry na funkční části vrtáku jsou vyrobeny s větším rozptylem než u vrtáků vyrobeny broušením. V průběhu operace tvářením za tepla jsou vlákna materiálu usměrňována a zhutňována, to se následně projeví velmi dobrou tuhostí a stabilitou vrtáku při vrtání. Tvářené vrtáky se vyrábějí pouze s úhlem sklonu šroubovice 20 až 30 stupňů [8].

Tvářené vrtáky jsou levnější s ohledem k menší spotřebě materiálu. Při výrobě vrtáku tvářením je menší úbytek materiálu než u broušených vrtáků. Stroje na tvářením jsou velmi rychlé, jednoduché a jsou s nimi tak spojeny nižší náklady na tyto stroje. Nevýhodou je nutnost výroby velké série, aby se tento způsob produkce vyplatilo použít. Další nevýhodou je zdlouhavé seřizování strojů [8].

Používají se při aplikacích, kde jsou náročnější podmínky vrtání. Jedná se např. o ruční vrtání bez vodícího pouzdra, horizontální vyvrtávačky a používají se na výrobu otvorů, u kterých není vyžadována vysoká přesnost [8].



Obr. 2.2 Tvářený vrták [10].

2.3 Sektorovým válcováním

V rozsahu průměru od 1,5 až 18 mm se vyrábějí vrtáky s válcovou a kuželovou stopkou válcováním za tepla pomocí čtyř tvarových segmentů (způsob Rohde & Dörrenberg, NSR). Výroba touto metodou přináší úsporu 40% materiálu [5].

Vrtáky o průměru 16 až 40 mm jsou válcovány postupným válcováním na 4 až 6 průchodů podle velikosti polotovarů. Nevýhoda této metody je, že se musí odfrézovat oduhličená vrstva. Výroba touto metodou přináší úsporu 25 % [5].

Polotovary s přímými drážkami se válcují na 3 až 4 průchody podobným způsobem. V posledním kroku se vrtáky zkrucují ve stáčecím přípravku [5].

2.4 Protlačováním

Tvarovou průtlačnicí se protlačují polotovary ohřáté na 1080 °C. Protlačováním se vyrábějí hlavně vrtáky o průměru 13 až 40 mm. Touto metodou se vyrábějí stopkové a nástrční několikabřitové nástroje. U této metody je úspora materiálu až 50 % [5].

2.5 Zkrucováním

Vrtáky o průměru 8 až 10 mm se vyrábějí z profilových tyčí, které jsou válcovány na 3 až 4 průchody na válcovacích stolicích. V dalším kroku se tyče zahřejí na teplotu 1000 °C a na zkrucovací stoličce se zkrucují. Následně se nařezou z tyčí díly potřebné délky. Po tepelném zpracování a obroušení se těla vrtáků lisují do stopek nebo upínají do kleští. Výroba touto metodou přináší úsporu materiálu 25 % [5].

2.6 Příčným válcováním

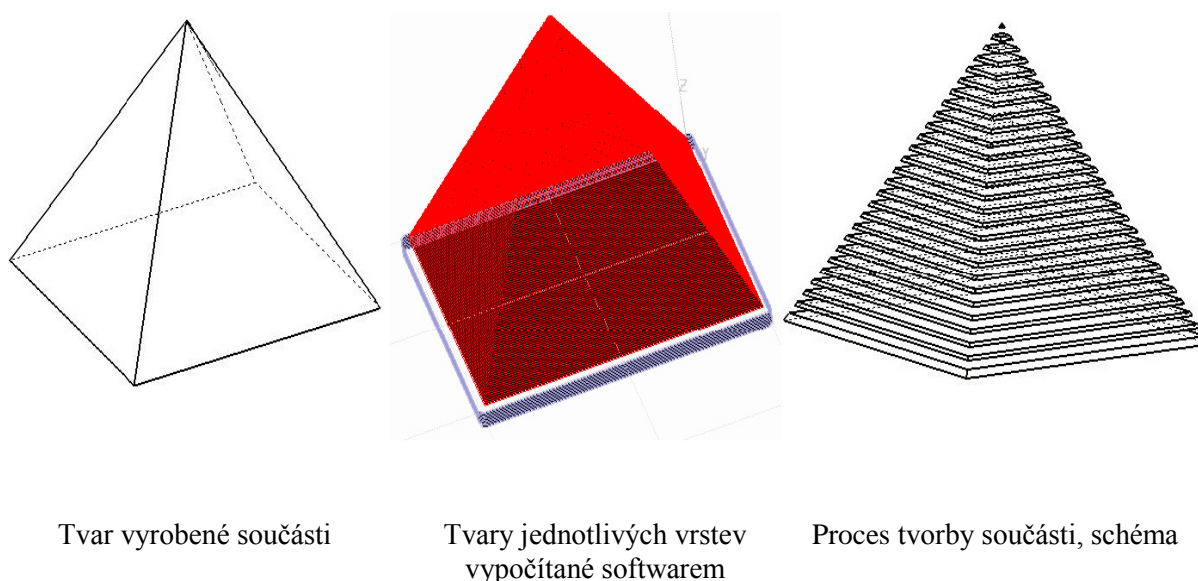
Vrtáky o průměru 6 až 10 mm se vyrábějí příčným válcováním čelistníky. Mezi dvěma rovinými deskami se odvalují ohřáté polotovary, v nichž jsou výstupky vytvořeny meandrovitě. Hlavní nevýhody této metody je složitý a drahý nástroj, omezený rozsah velikostí a neodstranitelné chyby v profilu [5].

2.7 Kováním v zápustkách

Touto metodou se zhotovují vrtáky největších velikostí o průměru 50 až 80 mm. Frézováním se následně dokončují předkované polotovary [5].

3 RAPID PROTOTYPING

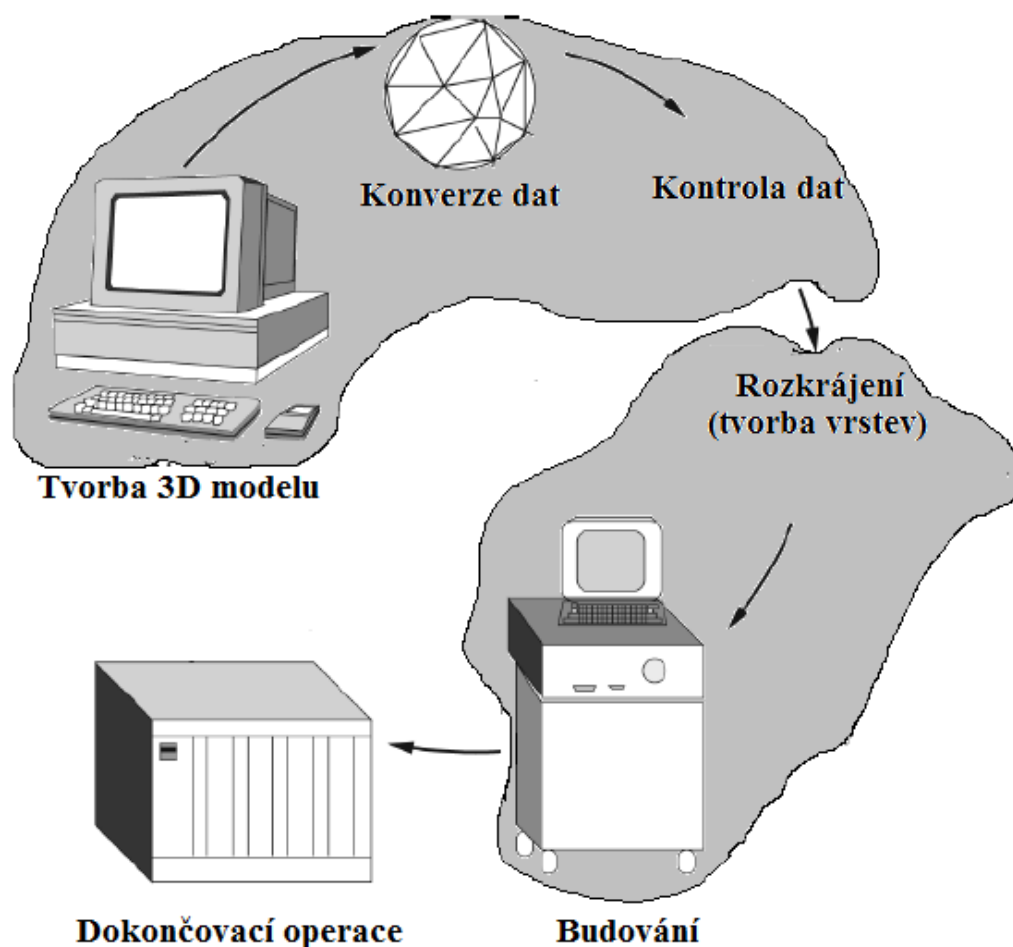
Technologie rapid prototyping (RP) představuje typ výrobní technologie, jejíž podstatou je opakované nanášení materiálu po vrstvách konstantní tloušťky (obr. 3.1). Je-li k dispozici 3D model z konstrukčního CAD programu, tak rapid prototyping slouží k rychlé tvorbě fyzických modelů (prototypů), které následně napomáhají ke zkrácení vývojového procesu součásti. Na těchto prototypu se dá snadněji měnit design, funkčnost, odstraňovat nedostatky prototypu, kontrolovat funkčnost, ergonomii a případně dle zvolené technologie provádět pevnostní zkoušky a tím ušetřit náklady před zahájením výroby. Jednou předností technologie RP je i možnost tvorba dutin v modelu, které jsou konvenčními technologiemi nevyrobitelné. V současnosti je pole působnosti technologie rapid prototyping velice široké, od automobilového průmyslu po lékařství [11, 12, 13, 14].



Obr. 3.1 Obecný princip technologie rapid prototyping [13].

3.1 Řetězec procesu

Při vzniku reálné součásti lze všechny metody rapidu prototypingu popsat podobným řetězcem procesu (obr. 3.2), který obsahuje tři základní kroky, a to pre – processing, processing (budování) a post – processing. Ty vycházejí z výrobního plánování [15].



Obr. 3.2 Řetězec procesu rapid prototyping [15].

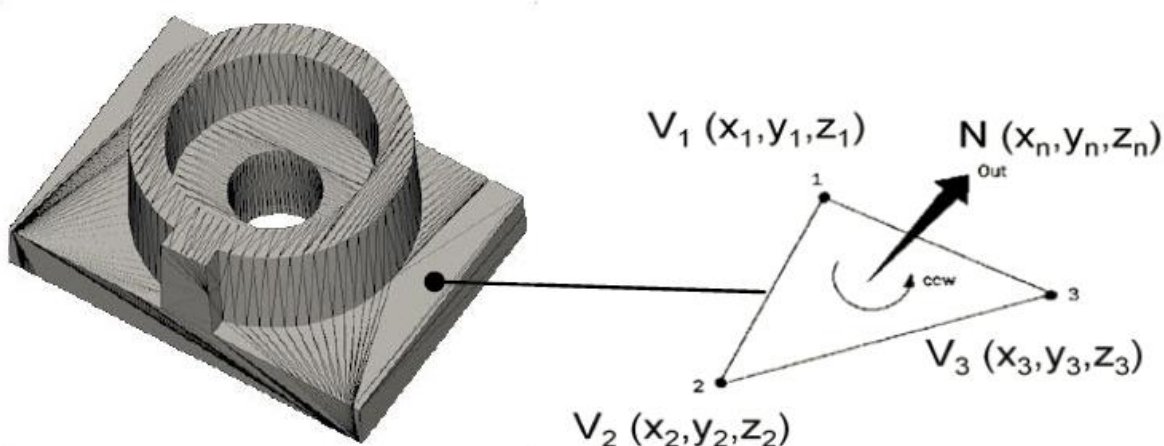
3.1.1 Pre – processing

- **Tvorba modelu**

Prvním krokem je příprava 3D modelu, který se vytvoří prostřednictvím CAD systému. Tato část řetězce může být časově nejnáročnější, protože závisí na složitosti modelu a zkušenostech modeláře. Tvorba modelu může zabrat od několika minut až po desítky hodin. Návrhář přitom musí neustále pořád počítat s omezeními, jako jsou například minimální tloušťka stěny modelu, která mu zvolená metoda RP dovolí ji vytvořit, minimální velikost díry nebo převísle části. Zde návrhář provádí na modelu různé analýzy a zkoušky [11, 15].

- **Konverze dat**

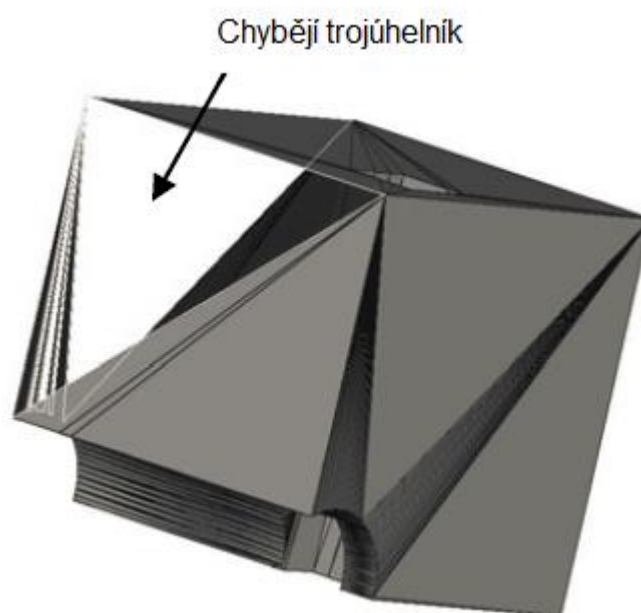
V dalším kroku je vytvořený model převeden do formátu *.stl pomocí CAD programu. Povrch modelu je následně rozdělen a po částech aproximován malými trojúhelníky. Každý takto vytvořený trojúhelník je definován normálovým vektorem a třemi body (obr. 3.3) [15, 16].



Obr. 3.3 Součást převedena do stl formátu [15].

- **Ověřování a oprava chyb**

V této části se odstraňují chyby (díry, mezery, trhliny) které vznikly při převodu modelu do formátu *.stl. Chyby vznikly v důsledku nedokonalou transformací původní plochy na trojúhelníky. Chybné trojúhelníky se překrývají, jsou špatně natočené nebo dokonce chybí (obr. 3.4). Chyby jsou pak odstraněny pomocí softwaru [15, 16].



Obr. 3.4 Ukázka chyby v STL formátu [15].

- **Orientace součásti**

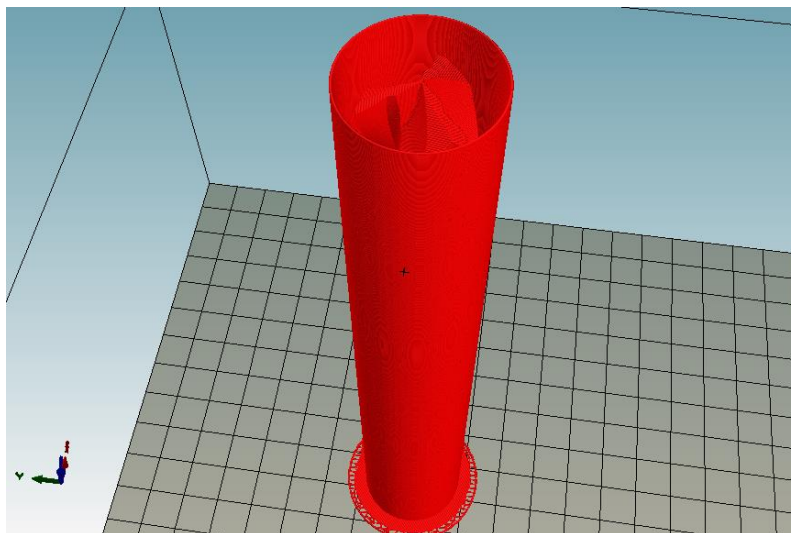
Orientace součásti při vytváření má významný vliv na pevnost, kvalitu a cenu prototypu. Orientace součásti se provádí s ohledem na čas a cenu při tvorbě součásti. Dále se součást orientuje s minimální výškou, aby snížil počet vrstev a podpor. Nakonec s ohledem na minimální tloušťku stěny, protože ta může být postavena jen v některé konkrétní orientaci [15].

- **Tvorba a editování podpor**

Na základě výchozích dat a zvolené metodě RP software automaticky vygeneruje podpory v místech (všechny převisy), kde jsou potřeba. Po vytvoření podpor lze je editovat, mazat případně zesilovat na základě geometrie součásti [15].

- **Rozkrájení (tvorba vrstev)**

Posledním krokem post – processingu je vytvoření jednotlivých vrstev modelu (obr. 3.5). Tloušťka jednotlivých vrstev se pro různé metody RP liší. Obvyklá tloušťka vrstvy se volí od 0,05 do 0,15 mm [15].



Obr. 3.5 Tvorba vrstev.

3.1.2 Processing (budování)

V tomto kroku probíhá tvorba samotné součásti vrstva po vrstvě. V závislosti na zvolené metodě RP, velikosti součásti a počtu kusů modelu může trvat tento krok několik desítek nebo až několik hodin [15].

3.1.3 Post – processing

Po dokončení výroby součásti se provádí dokončovací operace podle zvolené metody rapid prototyping. Nejprve se odstraňuje přebytečný materiál, jako jsou podpory nebo přetoky, které vznikly během výroby pomocí rozpouštědla nebo se odstraní manuálně. Dále se na vyrobeném modelu může provádět z estetického hlediska broušení, leštění, barvit prototyp případně obrábět konvenčními metodami [13, 15].

3.2 Metody rapid prototyping

Metody technologie rapid prototyping je možné rozdělit několika způsoby, např. podle nanášení jednotlivých vrstev, z hlediska výrobního postupu nebo na nejzákladnější dělení podle druhu použitého materiálu [11, 15, 16].

3.2.1 Na bázi fotopolymerů

Modely na bázi fotopolymeru jsou stavěny v nádobě s kapalnou pryskyřicí, kde vytvrzení jednotlivých vrstev dochází pod hladinou. Tvorba celého modelu vzniká, že po dokončení jedné vrstvy, se materiál posune o určitou hodnotu a následně dochází k vytvrzení další vrstvy. Tato zařízení se mohou ještě dělit podle typu laseru, metody skenování, zvedacího mechanismu a optické soustavy. Patří zde metody SLA a SGC [11, 14].

3.2.2 Na bázi práškových materiálů

Tato skupina používá k výrobě modelů jako výchozí materiál jemný prášek. Jako výchozí materiál se používá polyamid, nylon, polykarbonát, kovový prášek nebo vosk. Řadí se zde metody SLS a DMLS [11].

3.2.3 Na bázi tuhých materiálů

Hlavním znakem této skupiny je, že pro vytvoření prototypu je materiál na začátku v tuhé fázi. Některé metody mohou využívat taky laserový paprsek (metoda LOM). Materiál pro tvorbu modelů je například polykarbonát, vosk, ABS a termopolymer. Patří zde metody LOM, FDM, MJM [11].

3.3 Popis metody Fused Deposition Modeling – FDM

Princip metody FDM (obr. 3.6) je založen na nanášení nataveného termoplastického materiálu po vrstvách na základovou desku. U této metody je základní materiál, ve formě drátu namotaného na cívce, vtlačován do vyhřívané trysky pomocí systému kladek. Výrobky mohou být z materiálu ABS, PLA, polykarbonátu, elastomeru, vosku, atd [11].

Při tvorbě modelu je zde nutné myslet také na podpory, bez kterých se tato metoda neobejde. Podpěry jsou následně chemicky, nebo mechanicky odstraněny. Materiál pro podpěry a pro vlastní model je rozdílný, proto každé zařízení vyžaduje mít obě tyto kazety zabudované [11].

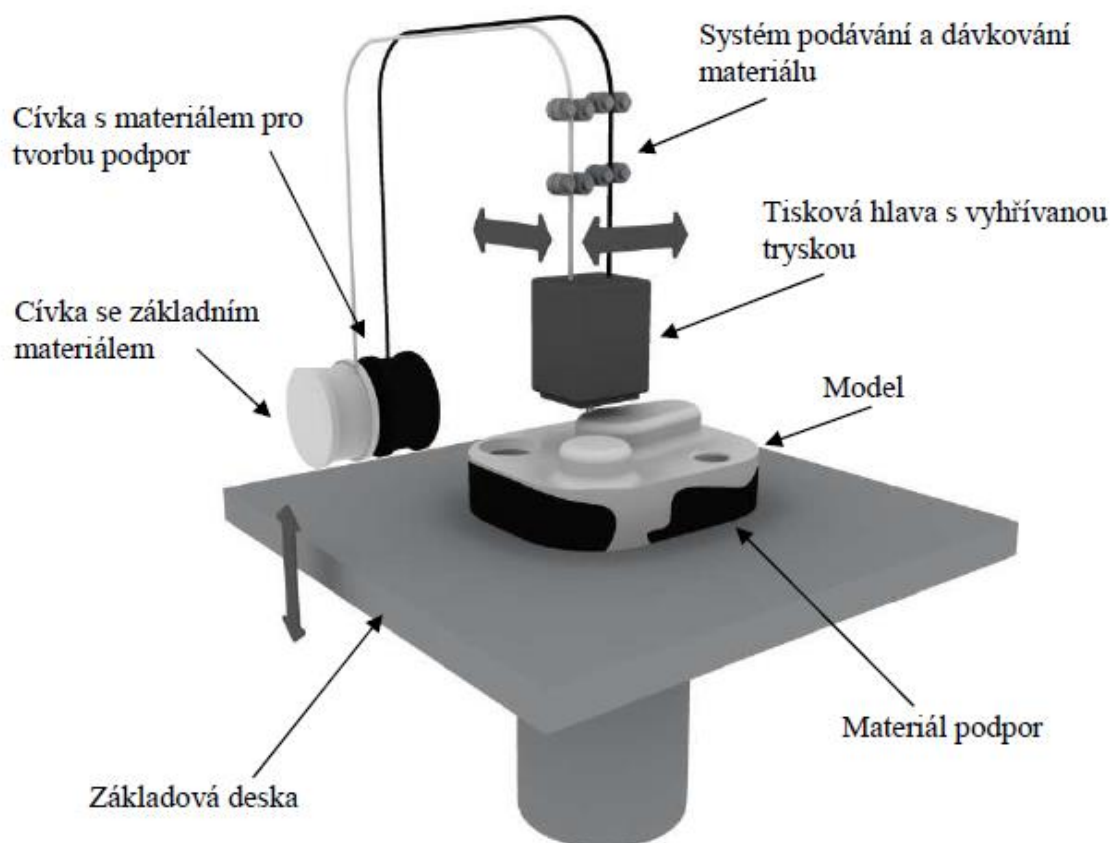
Soustava kladek vtlačuje dráty do extruzní trysky, kde dochází k ohřevu až do polotekutého stavu. Vtlačování základního materiálu, a materiálu podpor probíhá střídavě. Díky minimálním vrstvám materiál po opuštění trysky okamžitě tuhne na vzduchu. Celý proces probíhá tak, že stroj nejprve vykoná všechny dráhy v ose X a Y. Poté se základová deska posune o tloušťku vrstvy směrem dolů a opět vykoná všechny potřebné dráhy v osách X a Y. Tento proces se neustále opakuje až do vytvoření prototypové součásti. Poté je součást vyjmuta z pracovního prostoru [11].

Pokud je materiál podpor rozpustný, používají se speciální roztoky k odstranění podpor, jinak se materiál odstraňuje mechanicky. Následně se tyto modely můžou obrábět, či povrchově upravovat [11].

Hlavní výhodou metody FDM je tvorba funkčních prototypů, které mají podobné mechanické vlastnosti jako finální produkty. Při výrobě vzniká minimální odpad (materiál podpor). Tyto podpory jsou snadno odstranitelné mechanickým či chemickým způsobem.

Při výrobě je možné používaný materiál v kazetě snadno vyměnit za nový a tím se značně usnadňuje a urychluje proces výroby. Tato metoda nepracuje s toxickými materiály, takže je možné umístit zařízení i do kancelářských prostor [11].

Nevýhodou je omezená přesnost vyrobeného dílu kvůli velikosti průměru trysky, která materiál nanáší ve velkých vrstvách. Používaný materiál se při chlazení smršťuje, a proto velikost vyrobeného dílu nemusí zcela odpovídat 3D modelu zadaného pro výrobu. Tento nedostatek lze odstranit softwarem [11].



Obr. 3.6 Princip metody FDM [17]

4 TVORBA 3D MODELŮ TŘÍBŘITÝCH VRTÁKŮ

Pro tvorbu 3D modelů vrtáku je potřeba program, který využívá trojrozměrnou grafiku. V dnešní době je na výběr několik takových programů a záleží na nás, který využijeme. Mezi tyto programy se řadí například Autodesk Inventor Professional, SolidWorks, CATIA, Solid Edge, Rhinoceros a další. Na vytvoření modelů byl zvolen 3D program Autodesk Inventor Professional 2016.4.1 Autodesk Inventor Professional 2016

Inventor Professional patří mezi aplikace CAD od společnosti Autodesk, který je nejpoužívanějším 3D programem ve strojírenství. Tento program obsahuje funkce pro parametrické, přímé a volné modelování. Umožňuje tvorbu součástí, sestav i 2D výkresové dokumentace. Obsahuje taky moduly pro tvorbu plechů, svařenců, kabelových svazků, potrubních systémů, vstřikovacích forem a další. Dále umožňuje provádět dynamické simulace a výpočty zatížení použitím MKP pro jednotlivé součásti i sestavy. Součástí programu jsou i rozsáhlé knihovny normalizovaných součástí (ISO, DIN, HASCO) [18, 19].

Mezi základní funkce programu patří:

- Vysunutí – umožňuje vytvořit těleso nebo povrch přiřazením hloubky k uzavřenému nebo otevřenému profilu.
- Rotace – rotací načrtnutých profilů kolem osy je vytvořeno těleso.
- Tažení – tažením profilu po vybrané trajektorii je vytvořeno těleso.
- Šablonování – vytvoří přechodový tvar mezi dvěma nebo více náčrtu.
- Šroubovice – vytvoří spirálu podle zadaných parametrů a náčrtu.
- Díra – podle bodů náčrtu nebo jiných geometrických výběrů vytvoří.
- Zaoblení – na vybraných hranách, rozích a plochách vytvoří zaoblení.
- Zkosení – na vybraných hranách, rozích a plochách vytvoří zkosení.

4.2 Tvorba modelu vrtáku „broušením“

K prvnímu modelu vrtáku je přístupováno metodou simulací obráběním brousícími kotouči, kdy se nástroj pohybuje kolem polotovaru vrtáku po dráze (šroubovici) a v místě průniku je postupně vytvořena šroubovitá drážka.

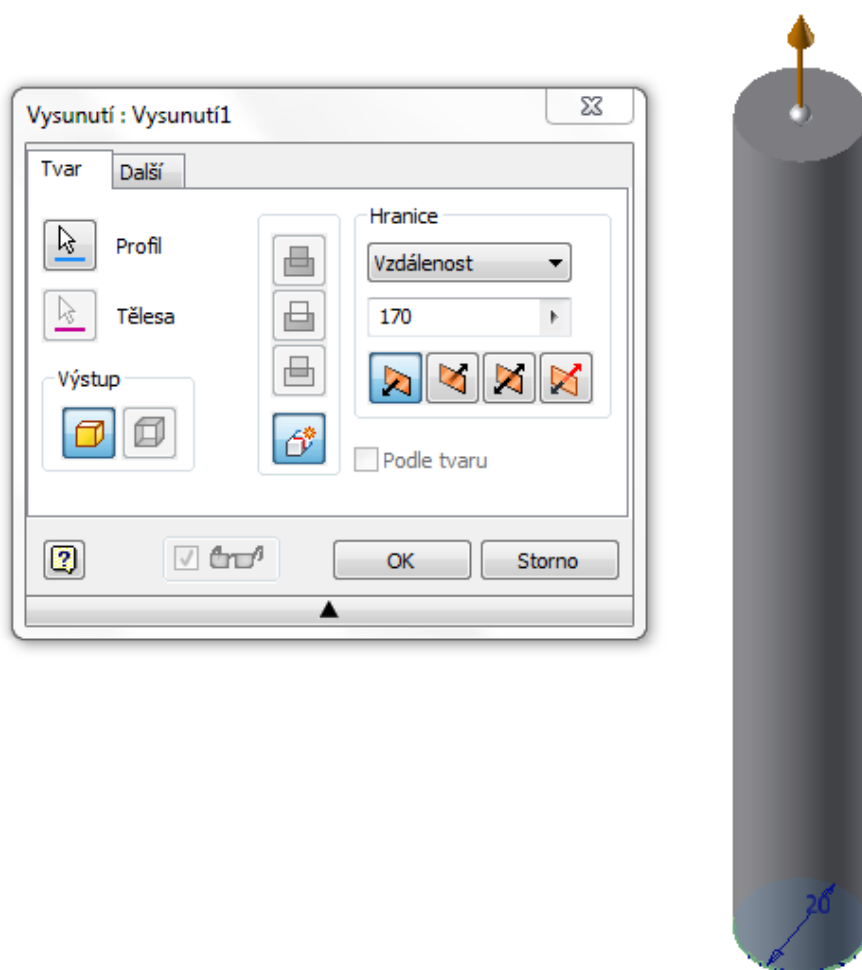
Základní parametry vrtáku, které byly použity při modelování, jsou uvedeny tabulce 4.1.

Tab. 4.1 Základní parametry vrtáku pro modelování.

Název parametru	Hodnota
Průměr vrtáku [mm]	20
Délka řezné části včetně výběhu [mm]	122,5
Celková délka polotovaru vrtáku [mm]	170
Úhel špičky [°]	130
Počet břitu [–]	3
Šroubovice [–], úhel stoupání [°],	pravá, 28
Otáčky nástroje [–]	pravé

4.2.1 Tvorba polotovaru

Po spuštění programu Autodesk Inventor Professional 2016 je v dialogovém okně vybrána šablona *Norma (mm).ipt*. Poté je zvolen náčrt do roviny XY, kde je vytvořen profil polotovaru vrtáku, který je následně funkcí „Vysunutí“ vysunutý o hodnotu 170 mm. Operace je znázorněna na obrázku 4.1.



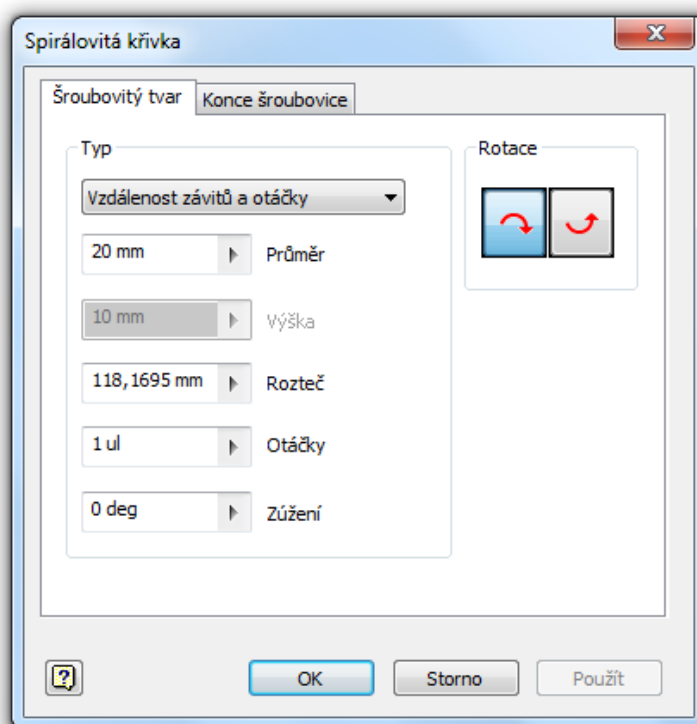
Obr. 4.1 Model polotovaru vrtáku.

4.2.2 Tvorba drážek

Dalším krokem je vytvoření drážek vrtáku. Nejprve je vytvořena dráha brousícího kotouče ve 3D náčrtu funkcí „Spirálová křivka“. Zadané parametry jsou uvedeny na obrázku 4.2, kde rozteč spirály byla vypočítána ze vztahu (4.2) [20]. Počátek dráhy je zvolen 15 mm od budoucí špičky vrtáku kvůli nájezdu brousícího kotouče.

$$S = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \tan\left(\frac{\pi}{2} - \lambda_s\right) = 2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot \tan\left(\frac{\pi}{2} - \frac{2 \cdot \pi \cdot 28}{360}\right) = 118,1695 \text{ mm} \quad (3.1)$$

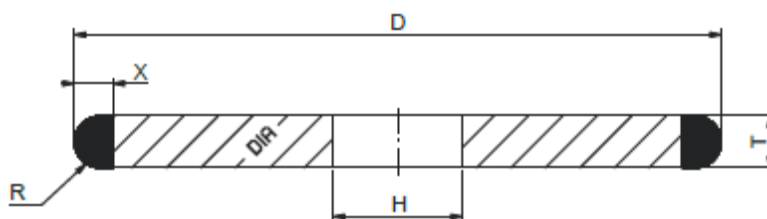
kde: f [mm] – rozteč spirály
 r [mm] – poloměr vrtáku
 λ_s [°] – úhel stoupání šroubovice



Obr. 4.2 Dráha brousícího kotouče.

Poté se vytvoří nová rovina, která prochází počátečním bodem spirály a v tomto bodě je na spirálu kolmá. V této rovině se vytvoří náčrt profilu brousícího kotouče. V tomto případě byl zvolen tvar kotouče *IF1 100–8–7–6–20* (obr 4.3), jehož parametry jsou uvedené v tabulce 4.2. Pro tvorbu náčrtu se použil průměr, tloušťka a zaoblení kotouče. Poté se náčrt orotuje a vytvoří se první segment drážky. Následně se vytvoří nová rovina ve vzdálenosti 1 mm od roviny prvního náčrtu, která je s ní rovnoběžná. Ta protne spirálu v dalším bodě, kde se vytvoří další rovina, která je v tomto místě kolmá na spirálu. V této rovině se opět vytvoří náčrt kotouče, který se orotuje a vytvoří další segment drážky. Tento

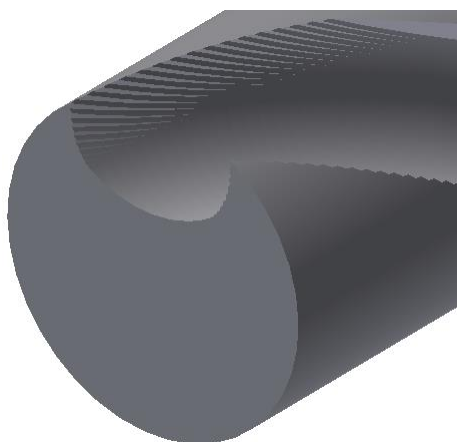
postup se opakuje 40 – 50 krát, aby se vytvořila část drážky (obr. 4.4), jejíž profil bude odpovídat přibližně tvaru drážky, kdyby byla obrobena brousícím kotoučem.



Obr. 4.3 Brousící kotouč 1F1 [21]

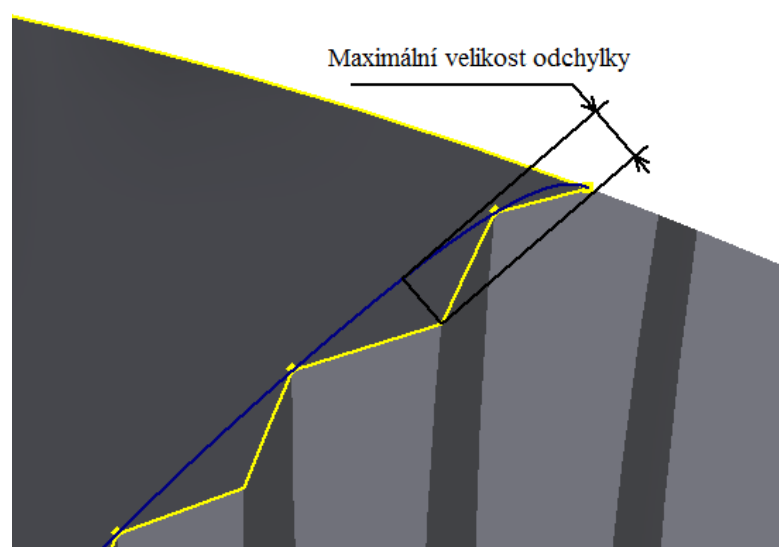
Tab. 4.2 Parametry brousícího kotouče 1F1 [21].

Název parametru	Označení	Hodnota
Průměr kotouče [mm]	D	100
Šířka brusné vrstvy [mm]	T	8
Výška brusné vrstvy [mm]	X	7
Zaoblení [mm]	R	6
Upínací průměr [mm]	H	20



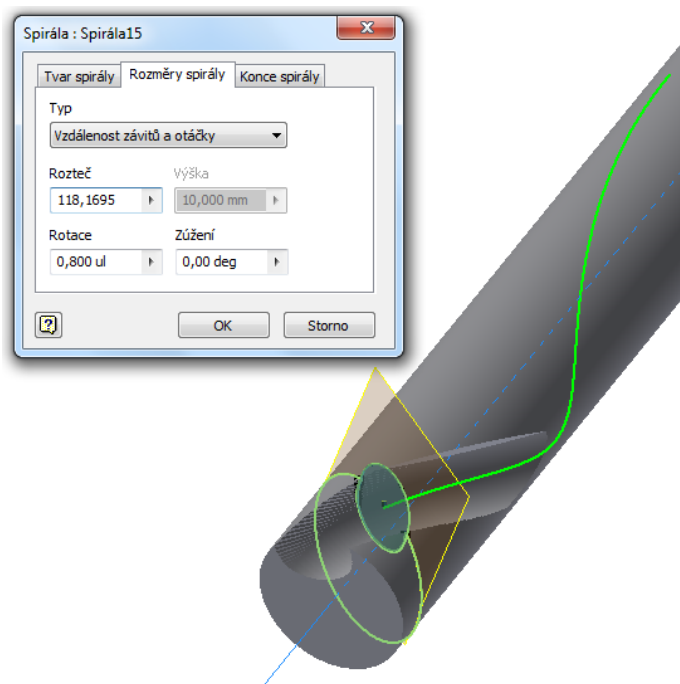
Obr. 4.4 Část vytvořené drážky.

Nevýhodou modelování drážky tímto způsobem je vznik vroubků na povrchu. To je způsobeno diskretizací spojitého pohybu brousícího kotouče. Je potřeba, aby byl povrch spojitý a hladký. K tomu je zapotřebí aby CAD software zvládnul tažení objemového modelu kotouče po křivce a odečtení vzniklého tělesa od polotovaru vrtáku. Bohužel program Inventor Professional 2016 tuto funkci nepodporuje. Částečně se tento problém dá odstranit použitím velmi jemného kroku kopírování modelu kotouče po šroubovici (např. 0,01 mm). Tímto způsobem se sníží maximální hodnoty a odchylky. Na obr. 4.5 je znázorněna maximální odchylka od ideálního profilu drážky (vyznačena modrou barvou.) [22].



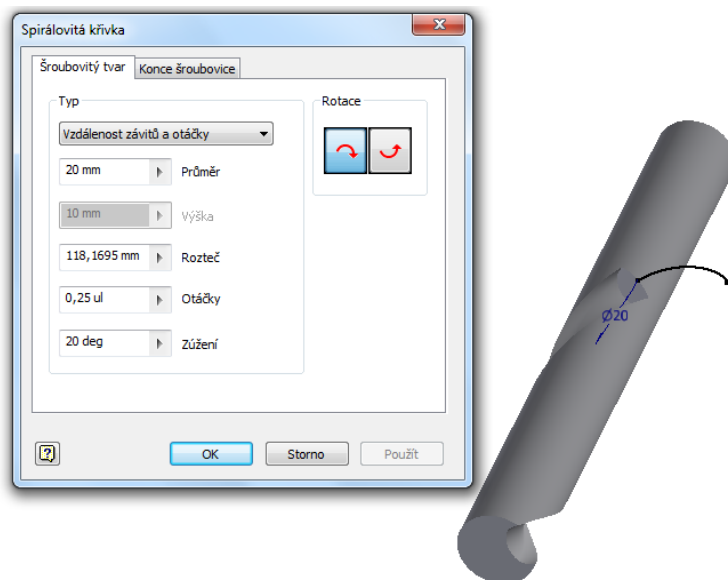
Obr. 4.5 Maximální odchyłka od profilu drážky [22].

V dalším kroku je ve vzniklé drážce vytvořena kolmá rovina na dráhu brousícího kotouče. Touto rovinou jsou rozděleny vzniklé vroubky, aby poté mohl být vytvořen profil ideálního tvaru drážky. Ve stejné rovině byl vytvořen náčrt, ve kterém je zobrazena geometrie rozdělených vroubků. Jednotlivé vrcholy vroubků byly dále spojovány pomocí funkce „Spline“. Takto vzniklý profil byl dále tažen funkcí „Šroubovice“, kde byla zvolena osa šroubovice vrtáku dle obr. 4.6 (modrá čára).



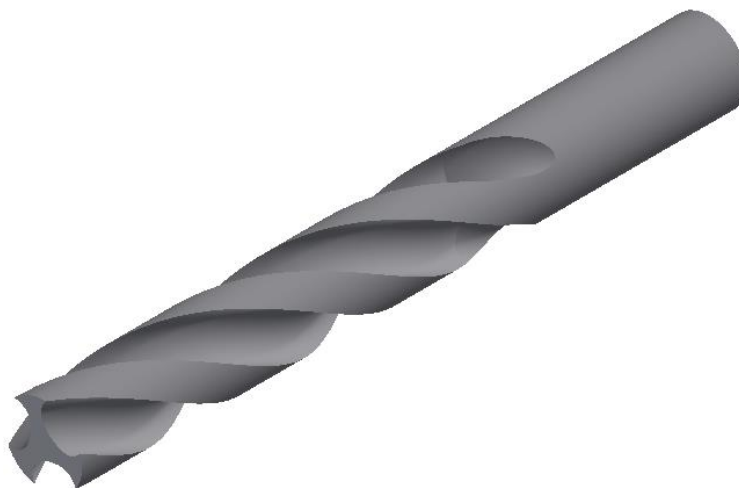
Obr. 4.6 Rozměry spirály pro tvorbu šroubovitě drážky.

Dále byl vymodelován výjezd kotouče z polotovaru, a to tak, že nejdříve byl na konci drážky vytvořen její náčrt, který byl následně tažen po dráze spirály dle parametrů na obr. 4.7.



Obr. 4.7 Výjezd dráhy drážky.

Pomocí funkce „*Kruhové pole*“ byly vytvořeny zbylé dvě drážky. Jako prvek byla zvolena vymodelována drážka, a dále byla zvolena osa rotace (osa vrtáku), kolem které se bude vytvářet kruhové pole (obr. 4.8).

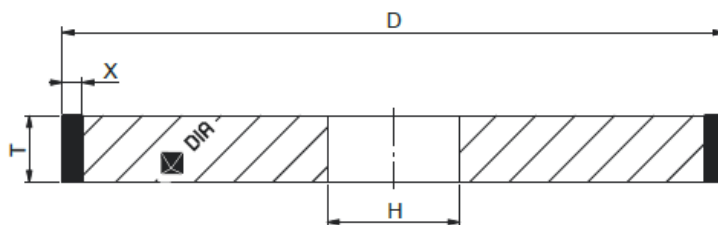


Obr. 4.8 Vytvoření dvou zbylých drážek.

4.2.3 Tvorba fazetky

Nejprve byla ve 3D náčrtu vytvořena spirála, která představuje dráhu brousícího kotouče na tvorbu fazetky. Tato spirála má stejné parametry jako spirála, která byla použita při tvorbě drážky. Rozdíl je však v tom, že neprochází drážkou, ale je vedena na povrchu vedlejšího hřbetu.

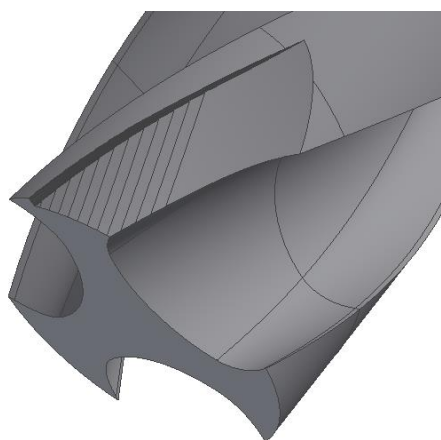
Postup je stejný jako u tvorby drážky s tím rozdílem, že pro náčrt profilu brousícího kotouče byl zvolen tvar kotouče 1A1 100–12–5–20 (obr. 4.9) jehož parametry jsou uvedeny v tabulce 3.3. Pro tvorbu náčrtu byl použit průměr a tloušťka kotouče. Poté se náčrt otáčí a vytvoří se první segment fazetky. Následně se vytvoří nová rovina ve vzdálenosti 1 mm od roviny prvního náčrtu, která je s ní rovnoběžná. Ta protne spirálu v dalším bodě, kde se vytvoří další rovina, která je v tomto místě kolmá na spirálu. V této rovině se opět vytvoří náčrt kotouče, který se otáčí a vytvoří další segment fazetky. Tento postup se opakuje 15 – 20 krát, aby se vytvořila část fazetky (obr. 4.10), jejíž profil bude odpovídat přibližně tvaru fazetky, kdyby byla obrobena brousícím kotoučem.



Obr. 4.9 Brousící kotouč 1A1 [21].

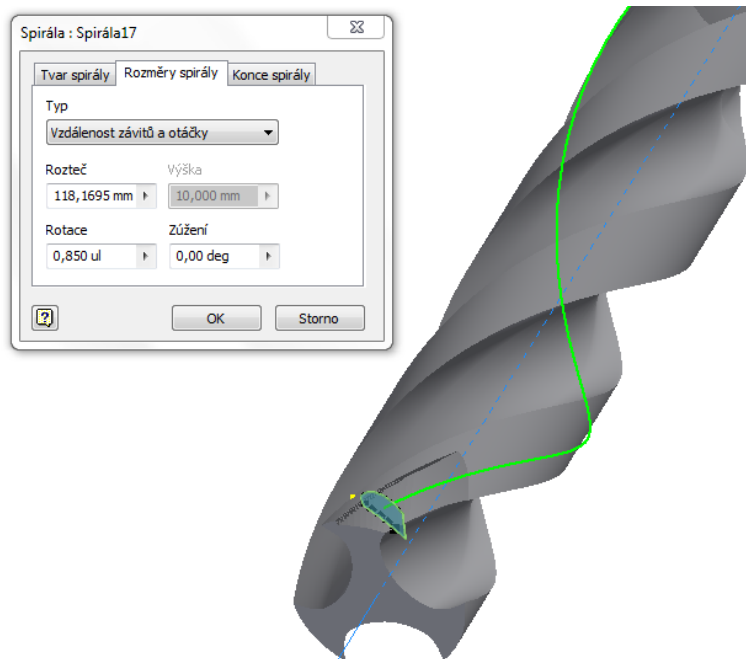
Tab. 4.3 Parametry brousícího kotouče 1A1 [21].

Název parametru	Označení	Hodnota
Průměr kotouče [mm]	D	100
Šířka brusné vrstvy [mm]	T	12
Výška brusné vrstvy [mm]	X	5
Upínací průměr [mm]	H	20



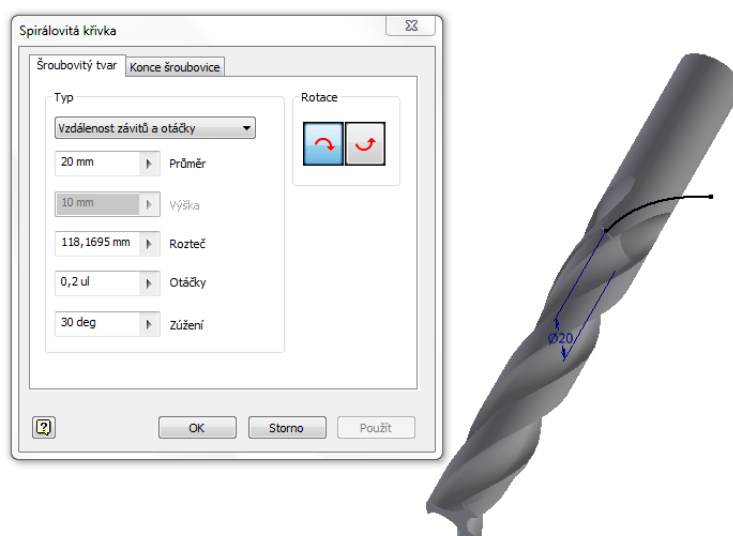
Obr. 4.10 Část vytvořené fazetky

Vzniklé drážky fazetky byly opět rozděleny kolmou rovinou na dráhu brousícího kotouče. Mohl tak být vytvořen profil ideálního tvaru fazetky. Ve stejné rovině byl vytvořen náčrt, který zobrazuje geometrii rozdělených vroubků. Jednotlivé vrcholy vroubků byly dále spojovány pomocí funkce „Spline“. Takto vzniklý profil byl dále tažen funkcí „Šroubovice“, kde byla zvolena osa šroubovice vrtáku dle obr. 4.11 (modrá čára).



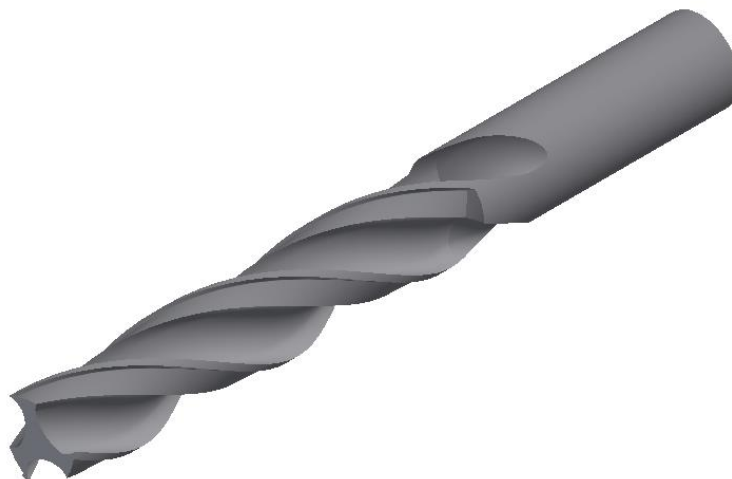
Obr. 4.11 Rozměry spirály pro tvorbu fazetky.

Dále byl vymodelován výjezd kotouče z polotovaru, a to tak, že nejdříve byl na konci fazetky vytvořen její náčrt, který byl následně tažen po dráze spirály dle parametrů na obr. 4.12.



Obr. 4.12 Výjezd dráhy fazetky.

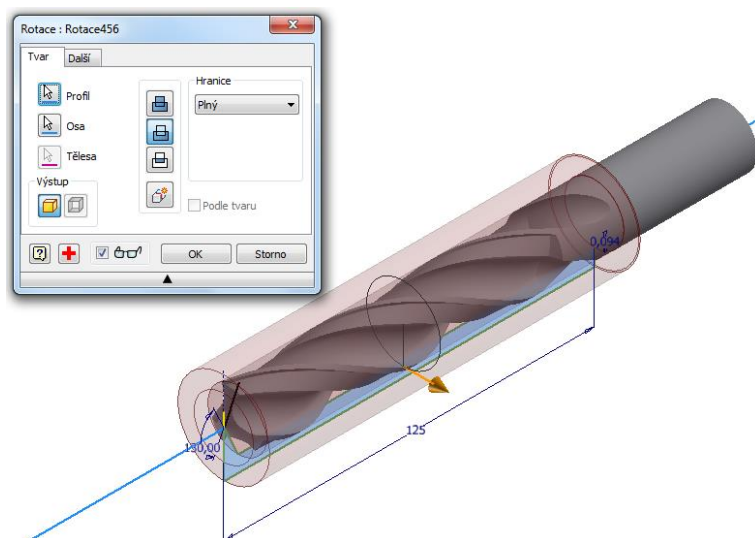
Poté funkcí „*Kruhové pole*“ byly vytvořeny zbylé dvě fazetky. Jako prvek byla zvolena vymodelována fazetky, a dále byla zvolena osa rotace (osa vrtáku), kolem které se bude vytvářet kruhové pole (obr. 4.13).



Obr. 4.13 Vytvoření dvou zbylých fazetek.

4.2.4 Tvorba špičky vrtáku a zpětné kuželovitosti

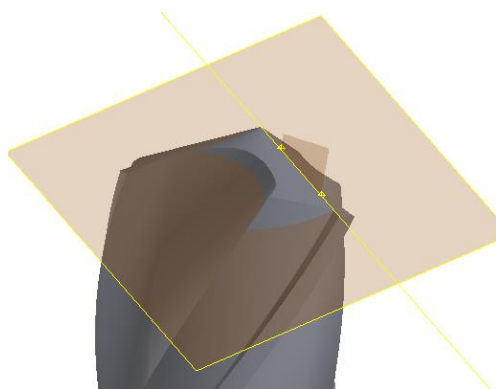
Tvorba špičky a zpětné kuželovitosti byly vytvořeny v jednom kroku. Byl vytvořen jejich náčrt. Úhel špičky činil 130° a tabulková hodnota zpětné kuželovitosti se má pohybovat v rozmezí 0,05 – 0,01 mm na 100 mm délky vrtáku [5]. Byla proto zvolena střední hodnota 0,075 mm na 100 mm délky vrtáku. Délka řezné části včetně výběhu však činí 125 mm, proto byla zpětná kuželovitost vypočítána na 0,094 mm. Pomocí funkce „*Rotace*“ byl tento profil odečten od vrtáku (obr. 4.14).



Obr. 4.14 Úhel špičky a zpětná kuželovitost.

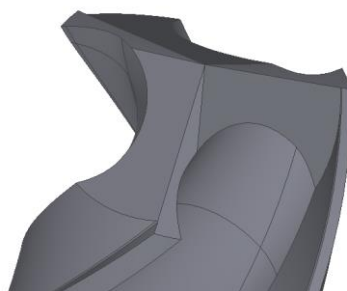
4.2.5 Výbrusy špičky

Výbrus špičky byl proveden třemi následnými výbrusy. Pro první výbrus byl vytvořen náčrt v rovině XY. Poté byl vytvořen náčrt pomocné úsečky, která spojovala střed špičky vrtáku a okraj fazetky. Z ní byla funkcí „*Vysunutí*“ vytvořena plocha, která byla vysunuta do modelu vrtáku. Na průniku plochy špičky a okraje plochy vytvořené pomocnou úsečkou byly získány pracovní body. Tyto body byly spojeny pracovní osou a následně byla vytvořena pracovní rovina. Tato rovina svírá úhel 60° mezi vysunutou plochou a pomocnou osou (obr. 4.15).



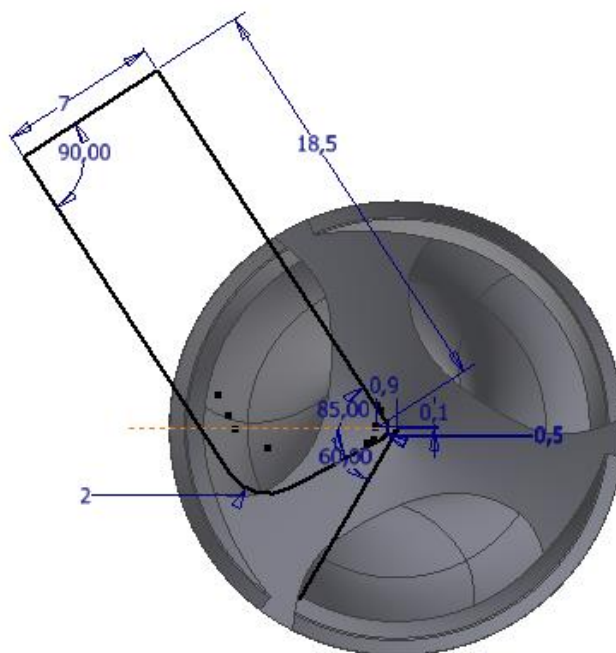
Obr. 4.15 Pracovní rovina prvního výbrusu.

V této pracovní rovině byl vytvořen náčrt, kde byly promítnuty seříznuté hrany touto rovinou. Tento profil byl znovu pomocí funkce „*Vysunutí*“ odečten od modelu vrtáku. Poté se opět použila funkce „*Kruhové pole*“ pro dodělání prvního výbrusu (obr. 4.16).

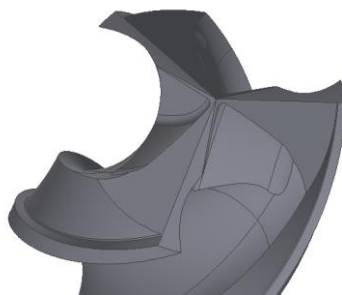


Obr. 4.16 První výbrus špičky.

Při druhém výbrusu špičky byl nejdříve v rovině XY vytvořen náčrt, který je uveden na obr. 4.17. Dále byla použita funkce „*Rotace*“, kde vytvořený profil byl orotován. Jako osa rotace byla zvolena osa brusného kotouče. Opět byla použita funkce „*Kruhové pole*“ pomocí níž byly vymodelovány zbylé výbrusy (obr. 4.18).

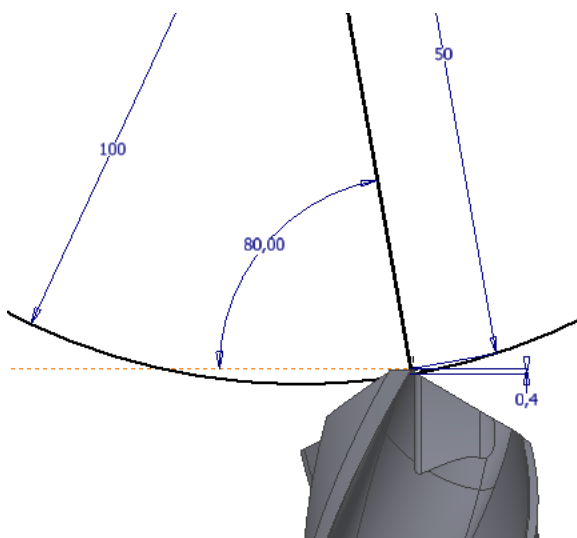


Obr. 4.17 Náčrt druhého výbrusu špičky.

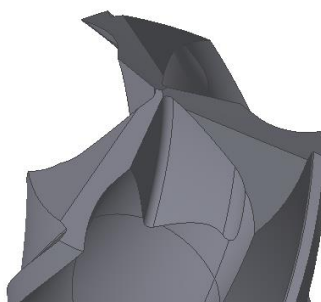


Obr. 4.18 Druhý výbrus špičky.

Při třetím výbrusu špičky byl nejdříve vytvořen 3D náčrt. Úsečkou byl spojen střed vrtáku s okrajem břitu. Na tuto úsečku byla vytvořena kolmá rovina, která prochází středem špičky vrtáku. Na této rovině byl vytvořen náčrt, který představoval brousící kotouč (obr. 4.19) Na tento náčrt byla použita funkce „Vysunutí“ a tak vytvořen třetí výbrus špičky. Dále byla opět použita funkce „Kruhové pole“ a tak vytvořeny zbylé výbrusy (obr. 4.20).



Obr. 4.19 Náčrt třetího výbrusu špičky.



Obr. 4.20 Třetí výbrus špičky.

4.2.6 Dokončený model vrtáku

Na obr. 4.21 je znázorněn vyhotovený 3D model vrtáku, který byl vytvořen metodou „broušením“.



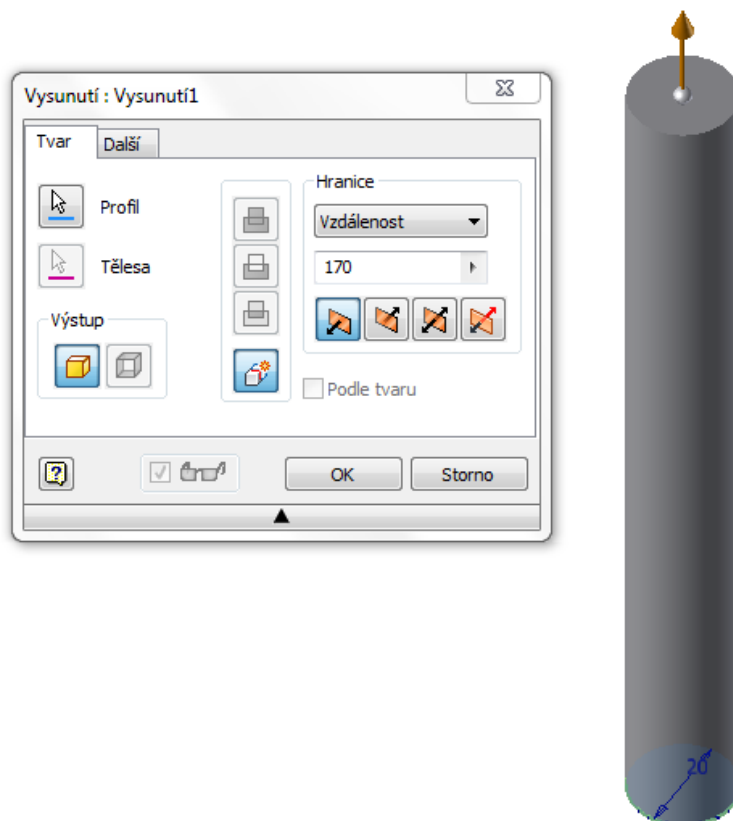
Obr. 4.21 Konečný model.

4.3 Tvorba modelu vrtáku „tažením profilu po šroubovici“

Pro tvorbu modelu vrtáku metodou „tažením profilu po šroubovici“ byly použity stejné základní parametry jako u tvorby modelu broušením (viz Tab. 3.1).

4.3.1 Tvorba polotovaru

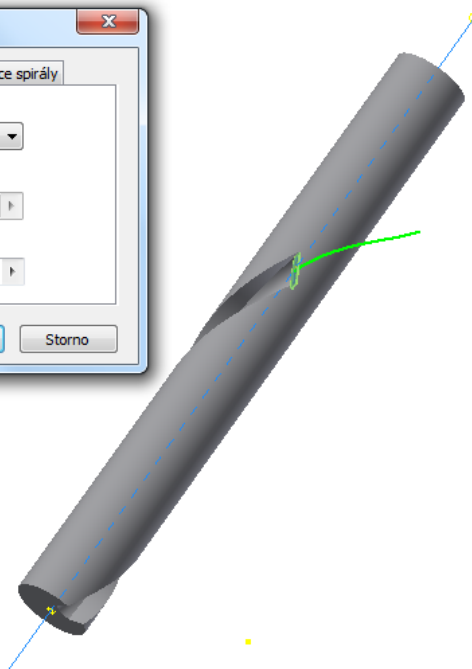
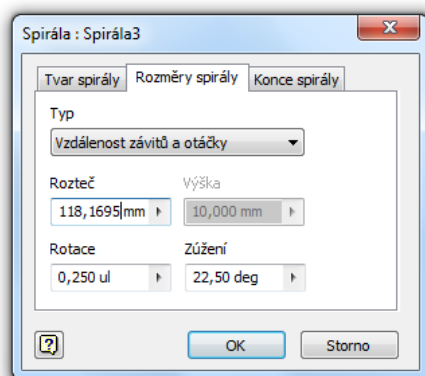
Opět byla pro tvorbu modelu použita šablona *Norma (mm).ipt*. V rovině XY byl vytvořen náčrt polotovaru vrtáku, který je následně funkcí „vysunutí“ vysunutý o hodnotu 170 mm (obr. 4.22).



Obr. 4.22 Model polotovaru vrtáku.

4.3.2 Tvorba drážek

Nejdříve byla vytvořena pracovní rovina, která s rovinou YZ svírá úhel 28° . V této rovině byl vytvořen náčrt brousícího kotouče, který byl stejný jako u předchozí metody. Byla použita funkce „Šroubovice“. Byl vybrán profil a osa šroubovice, kterou tvoří osa vrtáku. Tím se vytvořila první drážka. Poté byl vytvořen výběh drážky opět funkcí „Šroubovice“. Jako profil byl zvolen konec drážky, osu tvořila opět osa vrtáku. Zvolené parametry šroubovice jsou na obrázku 4.23.



Obr. 4.23 Tvorba výběhu drážky.

Poté byla použita funkce „*Kruhové pole*“ a byly vytvořeny zbylé dvě drážky (obr. 4.24).

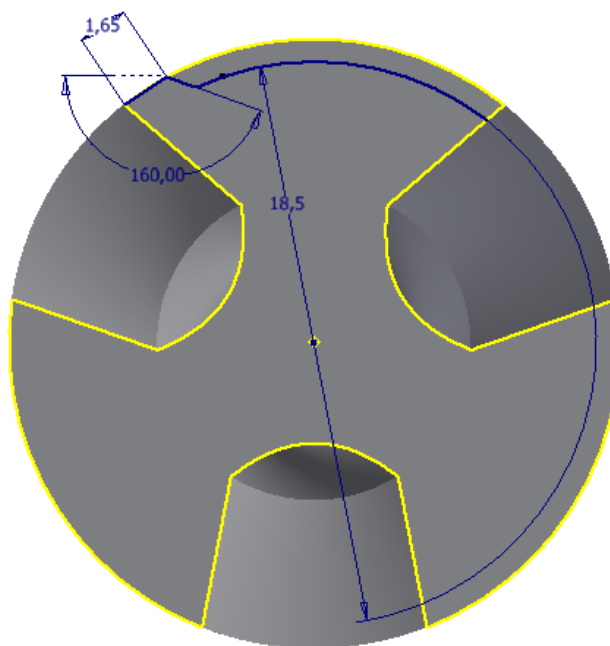


Obr. 4.24 Všechny vytvořené drážky.

4.3.3 Tvorba fazetky

Fazetka byla touto metodou vytvořena jiným způsobem, než tomu bylo u metody broušení.

V rovině XY byl vytvořen náčrt, a byl tak vytvořen profil drážky (obr. 4.25). Byla opět využita funkce „Šroubovice“. Profil tvořil náčrt fazetky a osu šroubovice tvořila osa vrtáku. Zadané parametry (jako je rozteč) jsou stejné jako u tvorby drážky.



Obr. 4.25 Náčrt fazetky.

Dále byl vytvořen výběh fazetky opět funkcí „Šroubovice“, kdy profil představuje konec vytvořené fazetky a osou šroubovice je opět osa vrtáku a parametry šroubovice jsou stejné jako u tvorby výběhu drážky. Pro vytvoření zbylých fazetek byla využita funkce „Kruhové pole“ (obr. 4.26).



Obr. 4.26 Vytvořené fazetky.

4.3.4 Tvorba špičky vrtáku a zpětné kuželovitosti

Tvorba špičky vrtáku a zpětné kuželovitosti byla stejná jako u metody broušení. Byly použity stejné parametry. Opět byla použita funkce „*Rotace*“, kde osu rotace tvořila osa vrtáku.

4.3.5 Výbrusy špičky

Výbrus špičky byl rovněž zcela totožný s metodou broušení. Byly využity funkce „*Vysunutí*“, „*Rotace*“, „*Kruhové pole*“.

4.3.6 Dokončený model vrtáku

Na obr. 4.27 je znázorněn vyhotovený 3D model vrtáku, který byl vytvořen metodou „tažením profilu po šroubovici“.



Obr. 4.27 Konečný model.

5 TISK MODELU

Pro 3D tisk modelu byla zvolena metoda tisku FDM. Po vytvoření modelu v programu Inventor Professional 2016 byly modely exportovány do formátu *.stl. Tyto soubory byly otevřeny v programu Repetier – Host, aby bylo možné vytvořit G-kód pro 3D tiskárnu. Tisk modelu byl proveden bez podpor. Nejprve byly vytvořeny 2 zkušební modely za účelem ověření správného nastavení tisku. První zkušební vzorek byl vytvořen z materiálu PLA (obr. 5.1), druhý již byl vytisknut z materiálu ABS (obr. 5.2) ze kterého jsou vyrobeny i konečné dva modely (obr. 5.3). Zadané parametry pro tisk konečných modelů jsou uvedeny v tabulce 5.1.

Tab. 5.1: Parametry pro 3D tisk

Součást	Tloušťka vrstvy [mm]	Tloušťka housenky [mm]	Množství výplně [%]	Styl výplně [-]	Rychlost [mm·s ⁻¹]	Doba tisku	Množství použitého materiálu [mm ³]
Metoda broušením	0,2	0,4	66	přímočaré	18	5 h 55 min	35875,2
Metoda tažení profilu po šroubovici	0,2	0,4	66	přímočaré	18	6 h 10 min	37427,85



Obr. 5.1 Vytištěný zkušební model vrtáku z PLA.



Obr. 5.2 Vytištěný zkušební model vrtáku z ABS.



Obr. 5.3 Vytištěné konečné modely vrtáků z ABS.

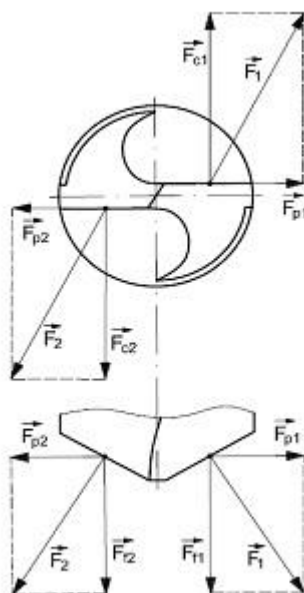
Nahoře: metoda tažením profilu po šroubovici; dole: metoda broušením.

6 ANALÝZA NAPĚTÍ

Pro analýzu napětí je nejprve nutné vyšetřit řezné síly na břitu vrtáku. Tyto síly jde analyzovat několika metodami, přičemž zde bude využita metoda rozdělení výsledné síly na tři složky (řezná, posuvová a pasivní složka). Přesnost této metody je spíše orientační [23].

Řeznou složku označíme F_c , posuvovou F_f a pasivní složku F_p (obr. 6.1). Na obrázku můžeme vidět pouze dvoubřitý vrták, avšak výpočet pro tříbřitý probíhá obdobně. Nevznikají zde dvě výsledné síly, ale tři, které jsou složeny ze všech dříve vyjmenovaných složek [23].

Jako materiál, pro který budou probíhat následné výpočty, byla zvolena ocel s mezi pevností $R_m = 750$ MPa.



Obr. 6.1 Rozložení sil na vrtáku.

6.1 Analýza na krut

Pro tuto analýzu je nutné vypočítat řezný moment, který zatěžuje vrták na krut. Tento moment způsobuje složka výsledné síly F_c která je dána vztahem [23]:

$$F_c = C_{F_c} \cdot D^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \text{ [N]} \quad (6.1)$$

kde:	C_{F_c} , [-]	-	konstanta, která vyjadřuje vliv obráběného materiálu,
	x_{F_c} , [-]	-	exponent, který vyjadřují vliv průměru vrtáku,
	y_{F_c} , [-]	-	exponent, který vyjadřují vliv posuvu na otáčku,
	D [mm]	-	průměr vrtáku,
	f [mm]	-	posuv nástroje na jednu otáčku.

Kde pro zvolený materiál je hodnota $C_{Fc} = 3650$, $x^{Fc} = 0,90$ a $y^{Fc} = 0,78$ [23], průměr vrtáku $D = 20$ mm a posuv nástroje na jednu otáčku $f = 0,25$ mm.

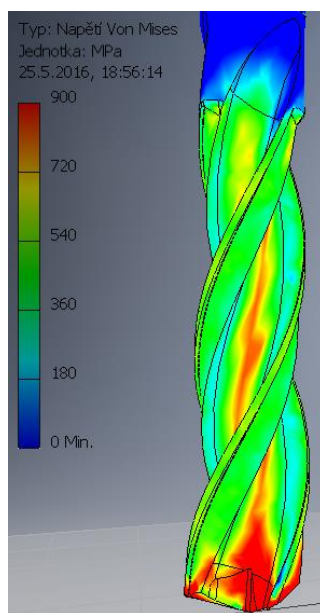
Výsledná síla je tedy rovna:

$$F_c = C_{Fc} \cdot D^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} = 3650 \cdot 20^{0,9} \cdot 0,25^{0,78} = 18349 \text{ N} \quad (6.2)$$

Z této síly je následně nutné vypočítat krouticí moment M_k :

$$M_k = 3 \cdot \frac{F_c}{3} \cdot \frac{D}{4} = 3 \cdot \frac{18349}{3} \cdot \frac{20}{4} = 91,745 \text{ Nm} \quad (6.3)$$

Analýza probíhala v programu Inventor Professional 2016 a to jak pro krut, tak pro namáhání tlakem obdobně. Nejdříve byla upevněna pomocí vazby stopka vrtáku, tak aby bylo zamezeno pohybu ve všech osách. Následně byl model zatížen vypočítaným řezným momentem a to na břitech vrtáku. Po vysíťování modelu byl proveden výpočet a následně upravena barevná škála a funkcí sonda zjištěny napětí v jednotlivých částech následovně. Obrázek 6.2 odpovídá napětí podle metody Von Mises.



Obr. 6.2 Analýza pro krut.

6.2 Analýza na tlak

Podobně jako u krutu je nejprve potřeba zjistit složku síly, tentokrát posuvovou sílu F_f . Výpočet posuvové síly F_f je dán vztahem [23]:

$$F_f = C_{F_f} \cdot D^{x_{F_f}} \cdot f^{y_{F_f}} \text{ [N]} \quad (6.4)$$

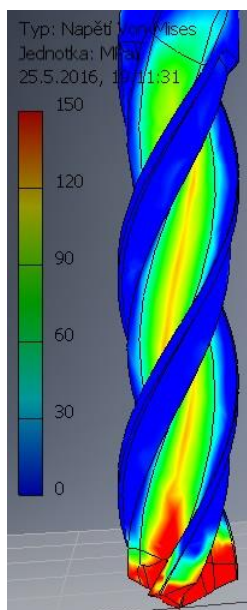
kde: C_{F_f} , [-] - konstanta, která vyjadřuje vliv obráběného materiálu,
 x_{F_f} , [-] - exponent, který vyjadřují vliv průměru vrtáku,
 y_{F_f} , [-] - exponent, který vyjadřují vliv posuvu na otáčku,
 D [mm] - průměr vrtáku,
 f [mm] - posuv nástroje na jednu otáčku.

Kde pro zvolený materiál je hodnota $C_{F_f} = 865$, $x^{F_f} = 1$ a $y^{F_f} = 0,72$ [23], průměr vrtáku $D = 20$ mm a posuv nástroje na jednu otáčku $f = 0,25$ mm.

Výsledná síla je tedy rovna:

$$F_f = C_{F_f} \cdot D^{x_{F_f}} \cdot f^{y_{F_f}} = 865 \cdot 20^1 \cdot 0,25^{0,72} = 6376 \text{ N} \quad (6.5)$$

Analýza probíhala opět v programu Inventor Professional 2016. Stopka vrtáku byla opět upevněna, aby se zamezilo pohybu ve všech osách. Následně byl model zatížen vypočítanou silou a to na břitech vrtáku. Po vysíťování modelu byl proveden výpočet a následně upravena barevná škála. Obrázek 6.3 odpovídá napětí podle metody Von Misses.



Obr. 6.3 Analýza pro tlak.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit 3D model tříbřitého vrtáku. Tento model byl poté za použití 3D tisku vyroben technologií FDM.

První část práce se zabývá základním rozbořem geometrie šroubovitého vrtáku. Pro popis je potřeba znát úhel stoupání šroubovice, vrcholový úhel, šířku fazetky, tloušťku jádra a zúžení průmětu břitu. Dalším důležitým parametrem je způsob podbroušení hřbetních ploch vrtáku.

Šroubovitě vrtáky je možné vyrábět řadou technologií např. frézováním, broušením, tvářením, sektorovým válcováním, protlačováním atd. Nejpoužívanější metody jsou broušení a tvářením.

V další části je stručně shrnuta technologie rapid prototyping a její celkový obecný proces. Dále je uvedeno základní rozdělení technologie rapid prototyping z hlediska druhu použitého materiálu. Na závěr je uveden popis metody Fused Deposition Modeling, kde je uveden její princip, výhody a nevýhody a typy materiálu, jako jsou ABS, PLA, vosk a další.

Hlavním cílem práce však bylo vytvořit 3D model vrtáku s ohledem na technologii jeho výroby.

Modely byly tvořeny metodou broušením a metodou tažením profilu po šroubovici. Metoda broušení je v tomto případě vhodnější, protože lze dosáhnout přesnějšího tvaru vrtáku. Touto metodou se vlastně simuluje výroba, která by probíhala na CNC stroji. Vyroběný model již zcela odpovídá reálnému výrobku. Je tedy možné na něm provádět různé simulace ke zjištění jeho použití a jeho vlastností. Díky tomu je tedy možné ještě upravit geometrii jednotlivých jeho částí. Jedná se tedy o metodu, kdy odpadá složité nastavování parametrů CNC stroje.

Metodou výroby tažením profilu po šroubovici se nedosahuje tak přesných rozměrů vrtáku. Takto vyhotovené modely jsou tedy spíše vhodné pouze pro orientační představu konečného výrobku. Jsou ale dostačující pro zkušební analýzy v programu Autodesk Inventor Professional aj.

Technologie tisku FDM byla vhodná pro výrobu obou typů vrtáků. Je to metoda vhodná pro konstrukci geometricky složitých dílů. První zkušební vzorek byl nejdříve tisknut za použití materiálu PLA. Tento materiál se však neukázal jako ideální. Po estetické stránce by bylo potřeba ještě povrch výrobku vybrousit, což je však značně problematické. Jeho značnou výhodou je však to, že pochází z obnovitelných zdrojů a je šetrný k životnímu prostředí. Pro další tisk modelů bylo využito materiálu ABS. Tento materiál již jde snadněji povrchově upravit. Je však méně odolný než PLA.

Na vytvořených 3D modelech byla provedena analýza napětí pro krut a tlak podle metody Von Misses. V analýze pro krut bylo zjištěno, že nejvyšší hodnoty napětí byly naměřeny na příčném ostří vrtáku a na koncích břitů, kde napětí dosahovalo hodnoty až 900 MPa. V analýze pro tlak bylo největší napětí naměřeno na příčném ostří o velikost 150 MPa.

Výsledné vyrobené modely je možné použít pro formy na odlitky nebo pro prezentační účely.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] THAYER, Jeffrey S. *Competitive Strategic Advantage Through Disruptive Innovation*. [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupný z:
<https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/10954>
- [2] *Nejnovější jakosti řezných materiálů firmy ISCAR*. Technický týdeník [online]. 2008, 18/2008, [cit. 2016-05-25].
<http://www.technickytydenik.cz/detail.php?action=show&id=4563&mark>
- [3] HUMÁR, Antonín. *Technologie I - Technologie obrábění - 2. část: Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. VUT FSI v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie obrábění, 2004 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z:
http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
- [4] ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2336-6.
- [5] SCHMIDT, Eduard a Kolektiv. *Příručka řezných nástrojů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1967, 484 s. DT 621.9.02.
- [6] KLIMEK, Petr. *Vliv tloušťky jádra šroubovitého vrtáku na silové poměry při vrtání*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 36s. Vedoucí bakalářské práce Doc. Ing. Miroslav Piška, CSc.
- [7] Guhring. *Basic Flute Geometry*. [online]. 2015. [cit. 2016-05-24]. Dostupné z:
<http://www.guhring.com/ELearning/VideoPlayer/?id=001>
- [8] NAROVEC, David. *Výroba vrtáků tvářením a jejich využití v praxi*. Brno, 2013. 32 s., 3 přílohy, CD. Bakalářská práce. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.
- [9] Wintech. *Visimpex nářadí*. [online]. [cit. 2016-05-24]. Dostupné z:
<http://www.wintech.cz/files/visi1/visimpex-standard/1399-vrtak-do-kovu-hss-tvareny-redukukovana-stopka-na-10mm.jpg>
- [10] Nařadí online. *Vrtáky*. [online]. [cit. 2016-05-24]. Dostupné z:
<http://www.naradionline.cz/products/w500jpg/vrtak-hss-co8.jpg>
- [11] PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
- [12] NOVAK-MARCINCIN, Jozef. *Modelling of Manufacturing Systems by Rapid Prototyping Technology Application*. Acta Technica Corviniensis: Bulletin of Engineering [online]. 2014, 7(3) [cit. 2016-05-25]. ISSN 2067 – 3809. Dostupné z:
<http://acta.fih.upt.ro/pdf/2014-3/ACTA-2014-3-13.pdf>
- [13] ZEMČÍK, Oskar. [online]. [cit. 2016-05-25]. *Aditivní technologie: metody Rapid Prototyping*. Odbor technologie obrábění. Dostupné z:
http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_techologie_metody_Rapid_Prototyping.pdf

- [14] ŘASA, Jaroslav a KEREČANINOVÁ Zuzana. *Nekonvenční metody obrábění 10. díl. MM Průmyslové spektrum*. [online]. Prosinec 2008. [CIT. 2016-05-25]. Dostupné z: <HTTP://WWW.MMSPEKTRUM.COM/CLANEK/NEKONVENCNI-METODY-OBABENI-10-DIL.HTML>
- [15] *Rapid Prototyping & Manufacturing Technologies*. [online]. 2012. [cit. 2016-05-25]. The Hong Kong Polytechnic University. Dostupné z: http://www.ic.polyu.edu.hk/student_net/training_materials/2012/IC%20Learning%20Series%202012%20-%20Rapid%20Prototyping%20&%20Manufacturing%20Technologies.pdf
- [16] PANDEY, Pulak M. [online]. 2010. [cit. 2016-05-25]. *Rapid Prototyping Technologies, Applications and Part Deposition Planning*. Dostupné z: http://web.iitd.ac.in/~pmpandey/MEL120_html/RP_document.pdf
- [17] BARCUCH, Jakub. *Využití moderních technologií při výrobě lopatek rybářských návnad*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 46 s., Ing. Josef Sedlák, Ph.D.
- [18] Autodesk Inventor 2017. *CAD studio*. [online]. © Copyright 2015 CAD Studio a.s. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <HTTP://WWW.CADSTUDIO.CZ/INVENTOR>
- [19] Autodesk Inventor. [online]. [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.autodesk.cz/products/inventor/overview>
- [20] III. Mezinárodní konference. Strojírenská technologie – Plzeň 2009. *Modelování drah brusného kotouče při výrobě šroubovitého vrtáku*. [online]. [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/16427/Karpusewski.pdf?sequence=1>
- [21] DIA Praha. *Katalog - Diamantové nástroje a brusivo*. 2013.[online]. [cit.2016-05-24]. Dostupné z: http://www.diapraha.cz/uploads/assets/katalogy/katalog_dia_praha_2013.pdf
- [22] MADAJ, Martin. PÍŠKA, Miroslav, ZOUHAR, Jan. *Moderní metody konstruování řezných nástrojů pomocí systémů CAD/CAM/CAE*. [online]. [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/5975720-Moderni-metody-konstruovani-reznych-nastroju-pomoci-systemu-cad-cam-cae.html>
- [23] SMEJKAL, Martin. *Rozklad řezných sil na břitu šroubovitého vrtáku*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Fakulta strojní v Plzni, Odbor strojírenské technologie-technologie obrábění. Vedoucí práce doc. Ing. Josef Sklenička

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Význam
2D	2-Dimenzionální/dvojrozměrný
3D	3-Dimenzionální/trojrozměrný
ABS	Akrylonitril Butadien Styren
CAD	Computer Aided Design
CNC	Computer Numerical Control
CO ₂	Oxid uhličitý
DIN	Deutsche Industrie Norm
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
FDM	Fused Deposition Modeling
ISO	International Organization for standardization
LOM	Laminated Object Manufacturing
MJM	Multi JET Modeling
MKP	Metoda konečných prvků
N	Normálový vektor
PLA	Polylaktid
RP	Rapid prototyping
SGC	Solid Ground Cutting
SLA	Stereolitografie
SLS	Selective Laser Sintering
UV	UltraViolet – ultrafialové záření
V_1, V_2, V_3	Označení vektoru
XY	Označení roviny
YZ	Označení roviny
x_1, x_2, x_3, x_n	Souřadnice vektoru
y_1, y_2, y_3, y_n	Souřadnice vektoru
z_1, z_2, z_3, z_n	Souřadnice vektoru

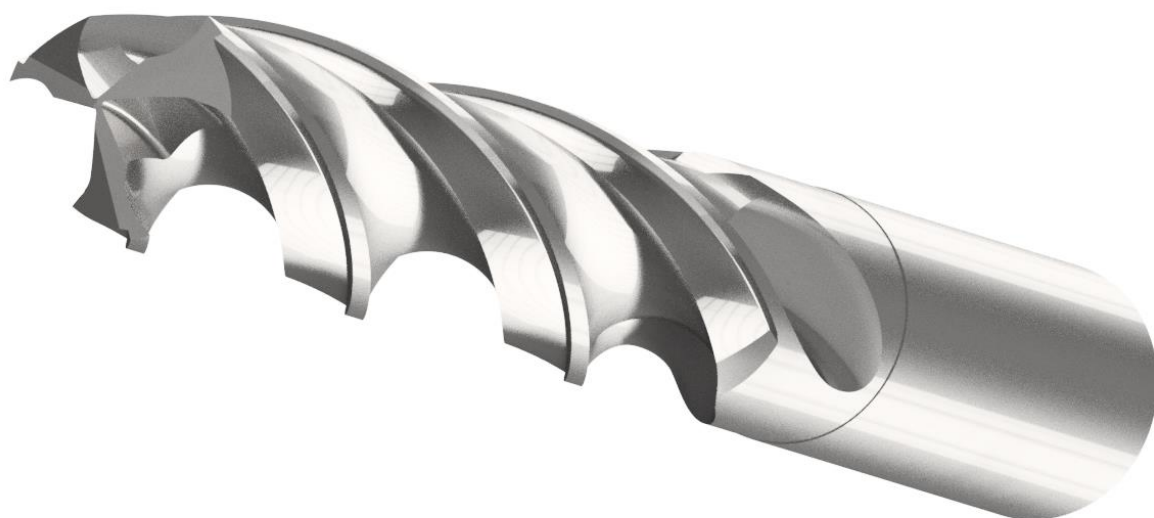
Symbol	Jednotka	Popis
α	[°]	Nástrojový úhel čela
λ_s	[°]	Úhel stoupání šroubovice
ε_r	[°]	Vrcholový úhel
π	[-]	Ludolfovo číslo

b'_{an}	[mm]	Šířka fazetky
d	[mm]	Průměr vepsaného válce
D	[mm]	Průměr vrtáku, kotouče
C_{Fc}, C_{Ff}	[-]	Konstanty vyjadřující vliv obráběného materiálu
H	[mm]	Upínací průměr
f	[mm]	Posuv nástroje na jednu otáčku
F_c	[N]	Řezná síla
F_f	[N]	Posuvová síla
F_p	[N]	Pasivní síla
M_k	[Nmm]	Krouticí moment k ose nástroje
T	[mm]	Šířka brusné vrstvy
r	[mm]	Poloměr vrtáku
R	[mm]	Zaoblení
S	[mm]	Rozteč spirály
X	[mm]	Výška brusné vrstvy
x_{Fc}, x_{Ff}	[-]	Exponenty vyjadřující vliv průměru nástroje
y_{Fc}, y_{Ff}	[-]	Exponenty vyjadřující vliv posuvu na otáčku

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Pohledy modelu vrtáku metodou broušením
- Příloha 2 Pohledy modelu vrtáku metodou tažením profilu po šroubovici
- Příloha 3 Výkres tříbřitého vrtáku – metoda broušení
- Příloha 4 Model tříbřitého vrtáku – metoda broušení.ipt
- Příloha 5 Model tříbřitého vrtáku – metoda tažení profilu po šroubovici.ipt

PŘÍLOHA 1: POHLEDY MODELU VRTÁKU METODOU BROUŠENÍM



**PŘÍLOHA 2: POHLEDY MODELU VRTÁKU METODOU TAŽENÍM
PROFILU PO ŠROUBOVICI**

